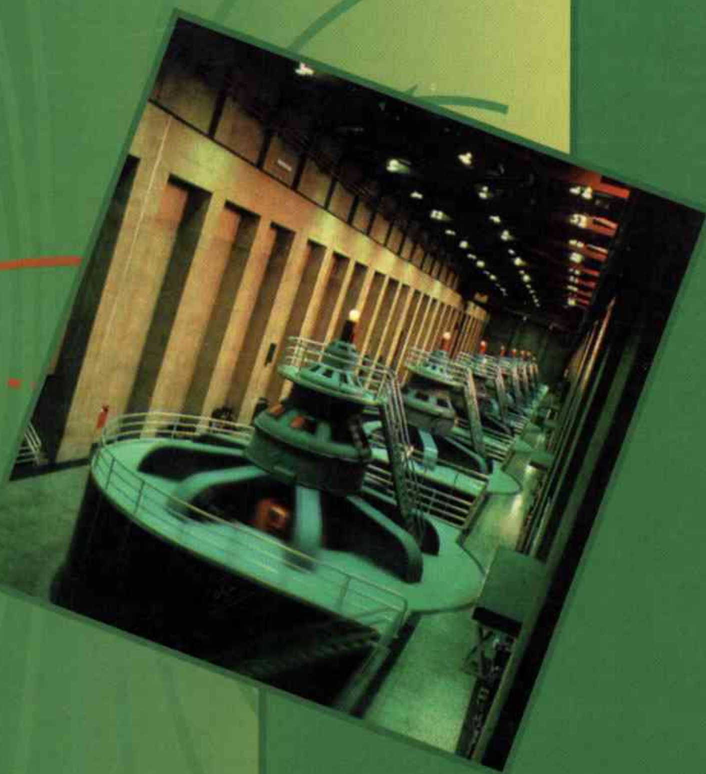
کتابهای
موضوعی
فیزیک

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

محمدعلی پزشپور
اسفندیار معتمدی



انتشارات فاطمی

کتابهای

موضوعی

فیزیک

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

محمدعلی پزشپور
اسفندیار معتمدی

انتشارات فاطمی

انتشـــارات علمی کالج
سنندج خ پاسداران مجتمع
تجاری کردستان طبقه همکف واحد ۱۶۱و ۱۶۲
تلفن: ۳۲۲۳۷۲۳۷-۳۲۹۱۰۸۶ فاکس: ۳۲۳۸۷۹۶

کتابهای موضوعی فیزیک

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

مؤلفان: محمدعلی پزشپور، اسفندیار معتمدی
ویرستار: ناصر مقبلی
ناشر: مؤسسهٔ فرهنگی فاطمی
چاپ سوم، ۱۳۸۳
شابک X_۳۱۹_۳۱۸_۹۶۴
ISBN 964-318-319-X
تیراژ: ۳۰۰۰ نسخه

آماده‌سازی پیش از چاپ: واحد تولید مؤسسهٔ فرهنگی فاطمی
- مدیر تولید: فرید مصحafحی
- طراح جلد: نینا وحیدی
- حروفچینی (TEX-پارسی): فرشته فرنژاد
- صفحه‌بندی (TEX پارسی): سپیده آذروند
- رسام و صفحه‌آرا: فاطمه ثقفی
- نظارت بر چاپ: علیرضا رضانژاد

چاپ و صحافی: چاپخانهٔ معراج



مؤسسهٔ فرهنگی فاطمی تهران، کدپستی ۱۴۱۴۶ ـ خیابان دکتر فاطمی، شمارهٔ ۱۵۹
تلفن: ۸۹۶۱۴۲۲ ـ ۸۹۶۴۷۷۰ نمابر: ۸۹۵۶۲۵۸
info@fatemi.ir

پزشپور، محمدعلی، ۱۳۰۷ ـ
القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب/ مؤلفان محمدعلی پزشپور، اسفندیار معتمدی؛ ویرستار ناصر مقبلی. ــ تهران: فاطمی، ۱۳۸۰.
هفت، ۱۲۲ ص.: مصور، جدول، نمودار. ــ (کتابهای موضوعی فیزیک)
ISBN 964-318-319-X
فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
واژه‌نامه.
کتابنامه: ص. [۱۲۳].
نمایه.
چاپ سوم: ۱۳۸۳.
۱. القای الکترومغناطیسی. ۲. القای الکترومغناطیسی ــ آزمونها و تمرینها. ۳. برق ــ جریان متناوب. الف. معتمدی، اسفندیار، ۱۳۱۷ـ . ب. عنوان.
۶۲۱/۳۴
QC۶۳۸/ الف۴پ۷
۱۳۸۰
کتابخانهٔ ملی ایران
۲۲۷۱۳ـ۷۹م

فهرست

به‌نام خدا

سخن ناشر

سالها پیش مؤسسهٔ انتشارات **فاطمی** به‌منظور ارتقاء سطح علمی علاقه‌مندان به‌ویژه دانش‌آموزان دبیرستانها اقدام به انتشار مجموعه کتابهایی با عنوان **گنجینهٔ دانش** در زمینهٔ مباحث فیزیک، شیمی، و ریاضی کرد که با استقبال فراوان علاقه‌مندان روبه‌رو شد. اگر چه این مؤسسه در خلال این سالها مجدّانه در ترجمه و نشر بسیاری از کتابهای مهمِ درسیِ آموزشِ علوم درکشورهای پیشرفته کوشیده است ولی همواره در صدد بازنگری و روزآمد کردن کتابهای تألیفی در انطباق با نظام جدید آموزش و پرورش بوده است. اکنون این تلاش به انتشار مجموعه‌ای از **کتابهای تألیفی موضوعی** در مباحث فیزیک، شیمی، ریاضی و زیست‌شناسیِ دبیرستانی و پیشدانشگاهی انجامیده است. منظور از موضوعی بودنِ این کتابها این است که مطالب هر کتاب شامل مبحث خاصی از یک شاخهٔ علمی است.

تألیف این کتابها با همکاری مدرسان دانشگاهی و دبیرستانی و براساس نیاز و اظهار نظرهای دانش‌آموزان دبیرستانها به عمل آمده است. مؤلفان علاوه بر شرح مبسوط مطالب به بالا بردن سطح فهم علمی دانش‌آموزان و آماده‌سازی آنان برای توفیق در امتحانات و آزمونهای ورودی دانشگاهها و داوطلبان المپیادها نیز توجه داشته‌اند. به‌علاوه مطالب این کتابها در مواردی فراتر از سطح کتابهای درسی است و تمرینها و پرسشهای آن حاوی نکات جدیدی است که می‌تواند برای دبیران ارجمند نیز قابل استفاده باشد.

برخی از

کتابهای موضوعی انتشارات فاطمی

در زمینه‌های

ریاضی، فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی



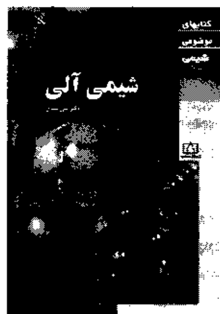








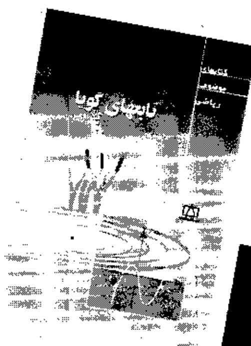
















انتشارات فاطمی

پیشگفتار مؤلفان

الکتریسیته شاخه‌ای از علم فیزیک است که در آن از بارهای الکتریکی، برهم‌کنش بارها، اثرهای جریان و کاربردهای آن بحث می‌شود. اکنون حدود دو قرن است که انسان با اختراع و ساختن پیل شیمیایی جریان الکتریکی تولید کرده و به اثرهای آن پی برده است. اثر مغناطیسی جریان الکتریسیته یکی از مهمترین دستاوردهای انسان بود که میان دانش الکتریسیته و دانش مغناطیس ارتباط و پیوندی را برقرار کرد و به‌دنبال آن اختراعها و اکتشافهای زیادی صورت گرفت.

پس از آنکه مشخص شد با الکتریسیته می‌توان مغناطیس تولید کرد گروهی از دانشمندان در پی آن شدند که از مغناطیس الکتریسیته تولید کنند. مایکل فارادی انگلیسی و جوزف هنری امریکایی از پیشروان موفق تولید الکتریسیته با مغناطیس بودند و پدیده‌ای را کشف کردند که آن‌را القای الکترومغناطیسی می‌نامند. به‌دنبال این کشف بسیار مؤثر بود که ژنراتورها ساخته شد و انرژی الکتریکی به مقدار بسیار زیاد تولید شد و در اختیار انسان قرار گرفت و با تبدیل آن به انرژیهای دیگر شکل زندگی تغییر کرد.

در این کتاب کوشش بر آن است که مفاهیم بنیادی و کلیدی مربوط به پدیدهٔ القای مغناطیسی، تولید جریان متناوب و کاربردهای آن به زبانی ساده شرح داده شود به‌طوری‌که دانش‌آموزان علاوه بر آنکه در امتحانات پایانی خود موفق می‌شوند بتوانند خود را برای آزمونهای ورودی دانشگاهها نیز آماده کنند.

کتاب شامل چهار فصل است. هر فصل دربرگیرندهٔ چند بخش است، در پایان هر بخش یک یا چند مثال با حل آنها آمده است. اغلب این مثالها همان مسائل امتحانات پایانی هستند که بحث و بررسی می‌شوند. در پایان هر فصل، خلاصهٔ فصل، هدفهای آموزشی و تعدادی پرسش، تمرین و پرسشهای چهارگزینه‌ای اضافه شده که دانش‌آموزان عزیز را برای امتحانات پایانی و امتحانات ورودی دانشگاهها آماده می‌کند.

محمدعلی پزشپور

اسفندیار معتمدی

۱

القای الکترومغناطیسی

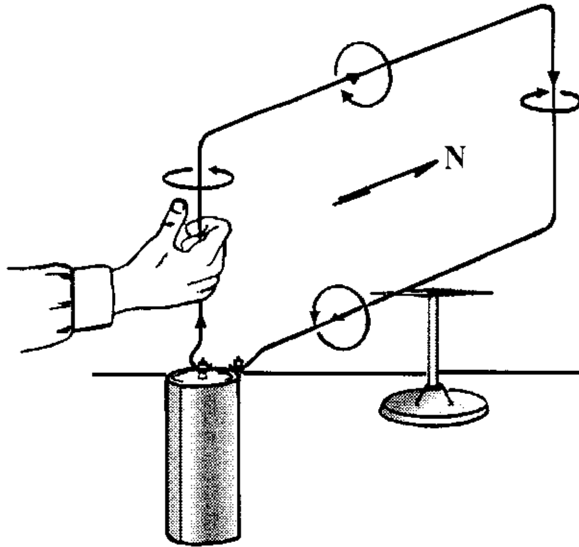
۱ـ۱ مقدمه

مغناطیس را از گذشته‌های دور می‌شناختند و به بعضی از اثرهای الکتریسیتهٔ ساکن نیز آشنا بودند. تا آنکه در سال ۱۷۹۱ میلادی/ ۱۱۷۰ خورشیدی، گالوانی[1]، پزشک ایتالیایی، با مشاهدهٔ انقباض ماهیچه‌ای به وجود جریان الکتریکی پی برد و سرانجام در سال ۱۱۷۹/۱۸۰۰ نخستین پیل شیمیایی را که می‌توانست جریان الکتریکی تولید کند اختراع کرد. به دنبال اختراع پیل شیمیایی بود که اثرهای جریان یکی پس از دیگری کشف شد.

در سال ۱۱۹۹/۱۸۲۰ اورستد[2]، فیزیکدان دانمارکی با آزمایشهای خود نشان داد که پیل شیمیایی در یک مدار بسته جریان الکتریکی به‌وجود می‌آورد که این جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند و مانند شکل ۱-۱ باعث انحراف عقربهٔ مغناطیسی می‌شود. پس با الکتریسیته می‌توان مغناطیس تولید کرد. نمونهٔ آن انواع آهنرباهای مغناطیسی است که در زنگ اخبار و دربازکنهای برقی و بسیاری از وسائل الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به دنبال کشف اورستد، دانشمندان این پرسش را مطرح کردند که وقتی می‌توانیم از الکتریسیته مغناطیس تولید کنیم آیا از مغناطیس هم می‌توانیم الکتریسیته به‌دست آوریم؟ به دنبال این‌گونه پرسشها بود که در سال ۱۸۳۱/ ۱۲۱۰ فارادی[3]، فیزیکدان انگلیسی کشف کرد که هرگاه مدار بسته‌ای در میدان مغناطیسی طوری قرارگیرد که در آن شار مغناطیسی تغییرکند، در مدار یک نیروی محرکه به‌وجود می‌آید. همزمان با فارادی، هنری[4]، فیزیکدان امریکایی به کشف همین پدیده دست یافت. پدیدهٔ کشف‌شده

1- Galvani, Luigi 2- Oersted, Hans Christian 3- Faraday, Michael 4- Henry, Joseph



شکل۱-۱

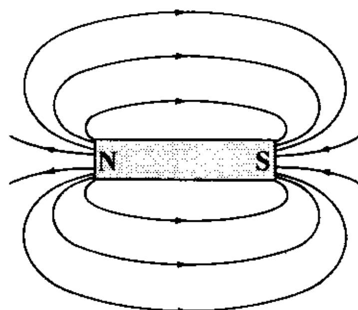
توسط فارادی و هنری القای الکترومغناطیسی[1] نامیده می‌شود. نیروی محرکهٔ الکتریکی حاصل از تغییر شار مغناطیسی را نیروی محرکهٔ القایی[2] و جریان برقرارشده در مدار بسته را جریان القایی[3] می‌نامند. در این فصل به چگونگی تولید نیروی محرکهٔ القایی، قانونهای فارادی، شار مغناطیسی و جریان الکتریکی القایی و ویژگیهای آنها می‌پردازیم.

۱ـ۲ میدان مغناطیسی

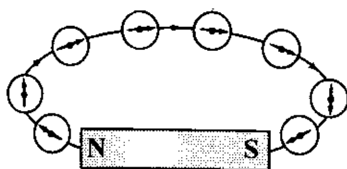
خاصیت میدان مغناطیسی هر آهنربا را با خطهای نیرو نشان می‌دهند. هر خط نیرو، در اطراف مغناطیسی مانند شکل ۱-۲ منحنی بسته‌ای است که از قطب N مغناطیس شروع می‌شود و از فضای اطراف مغناطیس می‌گذرد و به قطب S می‌رسد و می‌توان تصورکرد که از درون مغناطیس هم می‌گذرد. تراکم این خطهای مغناطیسی در دو قطب N و S آهنربا زیادتر از فاصله‌های دورتر است. هرجا که تراکم خطهای مغناطیسی بیشتر باشد خاصیت جذب و دفع مغناطیسی بیشتر است. از این‌رو کمیتی به‌نام میدان مغناطیسی[4] یا شدت میدان مغناطیسی به هر نقطه از مکان اطراف مغناطیس نسبت داده می‌شود. این کمیت برداری است و آن‌را با B نشان می‌دهند. میدان مغناطیسی B در هر نقطه بر خط مغناطیسی مماس است و جهت آن در خارج از مغناطیس از قطب N به S و درون مغناطیس از S به N است. به این ترتیب عقربهٔ مغناطیسی در هر نقطه بر خط میدان در آن نقطه به‌طور مماس می‌ایستد، شکل ۱-۳.

1- electromagnetic induction 2- induced electromotive force 3- induced current

4- magnetic field



شکل ۱-۲



شکل ۱-۳

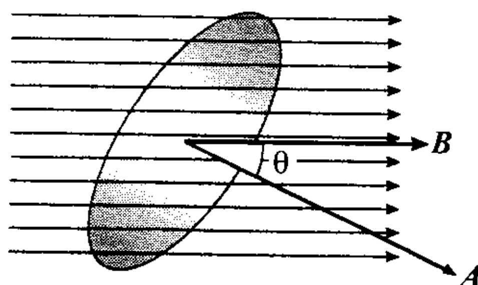
۱ـ۳ شار مغناطیسی

مجموع خطهای نیروی مغناطیسی را که از یک سطح محدود می‌گذرد شار یا فلوی مغناطیسی[1] می‌نامند. شار را با نماد φ نشان می‌دهند. هرگاه سطح محدود A مطابق شکل ۱-۴ در میدان مغناطیسی B قرارگیرد شاری از آن خواهد گذشت که برابر است با

$$\varphi = A \cdot B \cdot \cos\theta$$

در این رابطه θ زاویهٔ میان جهت بردارهای $\mathbf{B}$ و $\mathbf{A}$ است. رابطهٔ بالا را می‌توان به شکل برداری زیر نوشت

$$\varphi = \mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$$



شکل۱-۴

که در آن $\mathbf{A}$ برداری است عمود بر سطح A، که بردار سطح نامیده می‌شود و اندازهٔ آن برابر سطح A است.

اگر میدان عمود بر سطح باشد، $\theta = ۰$ و $\cos\theta = ۱$ و $\varphi = AB$ است. پس اگر سطح عمود بر خطوط القا باشد، شاری که از آن عبور می‌کند بیشترین مقدار را دارد. اگر میدان موازی سطح باشد، $\theta = ۹۰^\circ$ و $\cos\theta = ۰$ و $\varphi = ۰$ است. پس از سطح موازی خطوط القا، شاری عبور نمی‌کند.

یکای شار مغناطیسی در SI وِبر[2] با نماد Wb است. وبر شاری است که از سطحی برابر یک مترمربع هنگامی‌که عمود بر میدان مغناطیسی قرار داشته باشد، می‌گذرد.

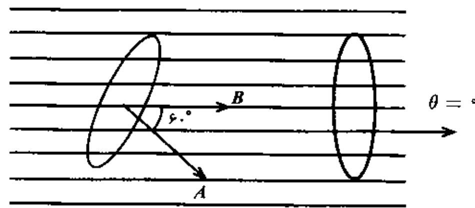
1- magnetic flux 2- Weber

یکای کوچکتر شار مغناطیسی ماکسول[1] با نماد Max است به‌طوری‌که $1\text{Wb} = 10^{8}\text{Max}$. داریم $1\text{Max} = 1\text{cm}^2 \times 1\text{Gs}$ (گاؤس) $\times \cos 0 = 1\text{Gs}\cdot\text{cm}^2$. شار مغناطیسی کمیتی جبری است که می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

مثال ۱. از حلقه‌ای به شعاع $10\,\text{cm}$ که مطابق شکل ۱-۵ در میدان مغناطیسی یکنواخت $B = 10^{2}\text{T}$ قرار دارد در حالتهای زیر چه شاری می‌گذرد؟

الف) میدان با صفحه زاویهٔ 30° می‌سازد.

ب) حداکثر شاری که از صفحه می‌گذرد چقدر است؟



شکل ۱-۵

حل: الف) هنگامی‌که میدان با سطح حلقه زاویهٔ 30° می‌سازد با بردار عمود بر سطح A زاویهٔ $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ می‌سازد. شعاع حلقه $R = 10\,\text{cm} = 0{,}1\,\text{m}$ و سطح برابر است با

$$A = \pi R^2 = 3{,}14 \times 0{,}1\,\text{m} \times 0{,}1\,\text{m} = 3{,}14 \times 10^{-2}\text{m}^2$$

بنابراین شار عبارت است از

$$\varphi = AB\cos\theta = 3{,}14 \times 10^{-2} \times 10^{2} \cos 60^\circ = 1{,}57\text{Wb}$$

ب) حداکثر شار هنگامی است که میدان بر سطح حلقه عمود و $\theta = 0$ و $\cos\theta = 1$ باشد. در این‌صورت شار برابر است با

$$\varphi = AB\cos\theta = 3{,}14 \times 10^{-2} \times 10^{2} \times 1 = 3{,}14\text{Wb}$$

▲

مثال ۲. سیمی به طول $40\,\text{cm}$ را به شکل مربع درمی‌آوریم و آن‌را عمود بر میدان مغناطیسی با بزرگی $0{,}2\text{T}$ قرار می‌دهیم. معین کنید

الف) چه شاری از آن عبور می‌کند؟

ب) اگر سطح سیم را طوری قرار دهیم که با خطوط میدان زاویهٔ 30° داشته باشد، تغییر شار چقدر است؟

1- Maxwell

حل: الف) طول سیم ۴۰ سانتیمتر است پس هر ضلع مربع ۱۰ سانتیمتر و مساحت آن ۱۰۰ سانتیمترمربع است و چون عمود بر خطوط میدان قرار دارد پس $\theta = 0$ و $\cos\theta = 1$ است. در نتیجه

$$\varphi = AB\cos\theta \Rightarrow \varphi_1 = 100 \times 10^{-4} \times 0/2 \times 1 = 2 \times 10^{-3}\text{Wb}$$

ب) زاویهٔ بین خطوط القا و سطح 30° است، در نتیجه θ زاویهٔ بین خطوط القا و خط عمود بر سطح برابر 60° و شاری که عبور می‌کند برابر است با

$$\varphi_2 = AB\cos\theta = 100 \times 10^{-4} \times 0/2 \times \cos 60^\circ = 1 \times 10^{-3}\text{Wb}$$

پس تغییرات شار برابر است با

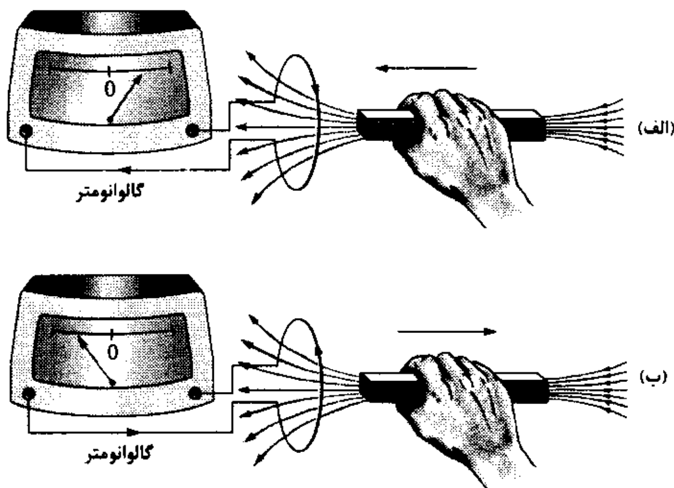
$$\Delta\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1| = |1 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3}| = 1 \times 10^{-3}\text{Wb}$$



۴ـ۱ القای الکترومغناطیسی

ایجاد جریان الکتریکی در یک رسانا را که در میدان مغناطیسی قرار دارد، القای الکترومغناطیسی می‌نامند. تجربه‌های زیر وجود جریان القایی را در مدار نشان می‌دهد

تجربهٔ اول: الف) هرگاه قطب N آهنربایی را به سرعت درون پیچه‌ای که حدود ۵۰ حلقه دارد و به گالوانومتر حساسی متصل است وارد کنیم مشاهده می‌شود که عقربهٔ گالوانومتر مطابق شکل ۱-۶ الف حرکت می‌کند و دوباره روی صفر می‌ایستد. زیرا با حرکت آهنربا به درون پیچه، شار مغناطیسی ایجاد می‌شود و با تغییر شار مغناطیسی نیروی محرکهٔ القایی و در نتیجه جریان القایی به وجود می‌آید. گالوانومتر وسیلهٔ اندازه‌گیری جریانهای الکتریکی در حدود میکروآمپر است که در صفحهٔ مدرج آن صفر



شکل۱-۶

در وسط قرار دارد و طرفین آن مدرج شده است تا با تغییر جهت جریان، عقربهٔ گالوانومتر بتواند به چپ یا راست حرکت کند.

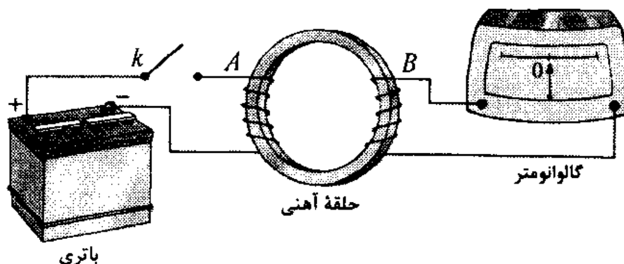
ب) اگر آهنربا را درون پیچه ساکن نگهداریم، شار مغناطیسی ایجاد می‌شود ولی تغییر نمی‌کند، در نتیجه نیروی محرکهٔ القایی و جریان القایی ایجاد نمی‌شود و عقربهٔ گالوانومتر حرکت نمی‌کند.

پ) هرگاه آهنربا را از درون پیچه خارج کنیم، عقربهٔ گالوانومتر به سمت راست و در خلاف جهت قسمت (الف) حرکت می‌کند زیرا حرکت آهنربا باعث تغییر شار مغناطیسی می‌شود و در نتیجه نیروی محرکهٔ القایی و جریان القایی در پیچه به‌وجود می‌آید و جهت جریان مخالف جهت جریان در قسمت (الف) و مطابق شکل ۱-۶ ب خواهد بود.

فارادی از تجربه‌های مذکور نتیجه گرفت که بزرگی جریان القایی در پیچه با عوامل زیر نسبت مستقیم دارد

- با سرعت حرکت آهنربا نسبت به پیچه.
- با تعداد حلقه‌های پیچه.
- با بزرگی میدان مغناطیسی آهنربا.

تجربهٔ دوم: یک حلقهٔ آهنی مطابق شکل ۱-۷ درنظر می‌گیریم و دو سیم‌پیچ A و B را دور آن می‌بندیم. سیم‌پیچ A را به یک مولد و سیم‌پیچ B را به یک گالوانومتر وصل می‌کنیم. مشاهده می‌شود که وقتی کلید K را می‌بندیم عقربهٔ گالوانومتر فوراً منحرف می‌شود و سپس به‌جای خود برمی‌گردد، ولی هنگامی‌که مدار را قطع می‌کنیم عقربهٔ گالوانومتر در جهت خلاف تجربهٔ قبل منحرف می‌شود. زمانی‌که مدار بسته است با آنکه جریان از سیم‌پیچ A عبور می‌کند عقربهٔ گالوانومتر منحرف نمی‌شود و جریان القایی در سیم‌پیچ B به‌وجود نمی‌آید. به عبارت دیگر هرگاه جریان در سیم‌پیچ A تغییر کند جریان القایی در مدار B به‌وجود می‌آید. پس نتیجه می‌گیریم که جریان القایی در سیم‌پیچ B به دلیل تغییر شدت جریان در سیم‌پیچ A است نه وجود جریان.



شکل ۱-۷

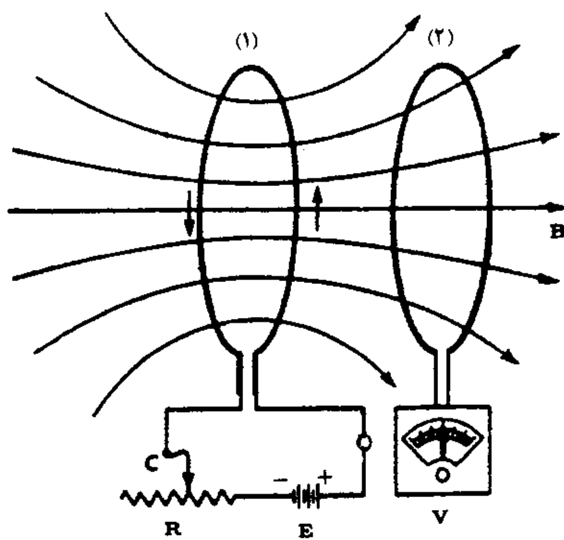
فارادی و لنز[1] پدیدهٔ القای الکترومغناطیس را فرمولبندی و قانونهای القای الکترومغناطیس را بیان کردند.

۱ـ۵ قانون القای فارادی

فارادی از تجربه‌های انجام‌شده نتیجه گرفت که هرگاه در مدار بسته‌ای شار مغناطیسی تغییر کند، نیروی محرکهٔ القایی به‌وجود می‌آید (مانند آنکه در مدار یک باتری قرار دارد)، و جریان در آن برقرار می‌شود. بزرگی جریان القایی و نیروی محرکهٔ القایی با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است. هرچه آهنگ تغییر شار بیشتر باشد نیروی محرکهٔ القایی و در نتیجه جریان القایی ایجادشده بزرگتر خواهد بود. اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی برابر است با $E = -\Delta\varphi/\Delta t$. در این رابطه $\Delta\varphi/\Delta t$ تغییر شار در یکای زمان برحسب $\frac{\text{وبر}}{\text{ثانیه}}$ و E نیروی محرکهٔ القایی با یکای ولت است. (علامت منفی در این رابطه را در بند ۱-۶ قانون لنز توجیه می‌کنیم). هرگاه پیچه دارای N حلقه باشد نیروی محرکهٔ القایی از رابطهٔ $E = -N\Delta\varphi/\Delta t$ محاسبه می‌شود.

برای ایجاد جریان القایی می‌توان یکی از روشهای زیر را با استفاده از رابطهٔ $\varphi = AB\cos\theta$ به‌کار برد.

الف) با حرکت لغزندهٔ C در شکل ۱-۸ مقاومت مدار و در نتیجه شدت جریان تغییر می‌کند، $I = E/R$ ، و با تغییر شدت جریان، بزرگی میدان مغناطیسی در مرکز حلقهٔ ۱ تغییر می‌کند $\left(B = \frac{\mu_\circ I}{2\pi R}\right)$ و در نتیجه شاری که از حلقهٔ ۲ می‌گذرد نیز تغییر خواهد کرد. تغییر شار ایجاد نیروی محرکهٔ القایی می‌کند و گالوانومتر جریان القایی را در حلقهٔ ۲ نشان می‌دهد.



شکل۱-۸

1- Lenz, Heinrich Friedrich Emil

ب) رابطهٔ $\varphi = AB\cos\theta$ نشان می‌دهد که اگر سطح حلقهٔ ۱ تغییر کند شاری که از حلقهٔ ۲ می‌گذرد نیز تغییر خواهد کرد و در نتیجه جریان القایی I از حلقهٔ ۲ خواهد گذشت.

پ) روش دیگر تغییر زاویهٔ θ است که در مولد سادهٔ جریان متناوب مورد بحث قرار خواهد گرفت.

مثال ۳. پیچه‌ای که دارای ۵۰۰ حلقه است عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد. هرگاه بزرگی میدان مغناطیسی در مدت ۰٫۰۱ ثانیه از $-۰٫۰۲\mathrm{T}$ به $+۰٫۰۲\mathrm{T}$ تغییر کند، اندازهٔ نیروی محرکهٔ القاشدهٔ متوسط را تعیین کنید در صورتی‌که سطح هر حلقهٔ پیچه ۴۰ سانتیمترمربع باشد.

حل: تغییرات شار برابر است با

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \varphi_۲ - \varphi_۱\\ &= AB_۲\cos\theta - AB_۱\cos\theta = A\cos\theta(B_۲ - B_۱)\\ &= ۴۰\times ۱۰^{-۴}\times ۱(۰٫۰۲+۰٫۰۲) = ۱٫۶\times ۱۰^{-۴}\mathrm{Wb}\end{aligned}$$

نیروی محرکهٔ القاشده متوسط برابر است با

$$\begin{aligned}\overline{E} &= \left|N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right|\\ &= ۵۰۰\times\frac{۱٫۶\times ۱۰^{-۴}}{۰٫۰۱} = ۸\mathrm{V}\end{aligned}$$

▲

مثال ۴. دو سیملولهٔ A و B دارای محورهای مشترک‌اند. سیملولهٔ A دارای ۱۰۰ حلقه در هر سانتیمتر و با قطر ۴ سانتیمتر و سیملولهٔ B دارای ۵۰ حلقه در هر سانتیمتر و با قطر ۲ سانتیمتر است. هرگاه جریانی که از سیملولهٔ A می‌گذرد در مدت ۰٫۰۵ ثانیه از ۱٫۵ آمپر به صفر برسد و سپس تغییر جهت دهد و به ۱٫۵ آمپر کاهش یابد،

الف) نیروی محرکهٔ القایی در سیملولهٔ B چه اندازه خواهد شد؟

ب) اگر مقاومت سیملولهٔ B برابر ۰٫۲ اهم باشد، اندازهٔ جریان القایی که از آن می‌گذرد چند میلی‌آمپر است؟

حل: الف) بزرگی میدان مغناطیسی در مرکز سیملولهٔ A برابر است با

$$\begin{aligned}B &= \mu_۰\frac{N}{l}I = ۴\pi\times ۱۰^{-۷}\times\frac{۱۰۰}{۱\times ۱۰^{-۲}}\times ۱٫۵\\ &= ۱٫۸۸۴\times ۱۰^{-۲}\mathrm{T}\end{aligned}$$

سطح حلقه‌های سیملولهٔ B برابر است با

$$A = \pi r^۲ = ۳٫۱۴\times(۰٫۰۱)^۲ = ۳٫۱۴\times ۱۰^{-۴}\mathrm{m}^۲$$

شاری که از یک حلقهٔ سیملولهٔ B می‌گذرد عبارت است از

$$\varphi = AB\cos\theta = ۳/۱۴ \times ۱۰^{-۴} \times ۱/۸۸۴ \times ۱۰^{-۲} \times ۱$$
$$\simeq ۵/۹ \times ۱۰^{-۶}\mathrm{Wb}$$

چون شدت جریان از ۱/۵ آمپر به صفر می‌رسد و از صفر به ۱/۵ آمپر تغییر می‌کند، در نتیجه شار مغناطیسی نیز از $\varphi_۱ = ۵/۹ \times ۱۰^{-۶}\mathrm{Wb}$ به $\varphi_۲ = -۵/۹ \times ۱۰^{-۶}\mathrm{Wb}$ تغییر خواهد کرد. پس نیروی محرکهٔ القایی که در ۵۰ حلقهٔ سیملولهٔ B به‌وجود می‌آید برابر است با

$$E = \left| -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right| = \left| -۵۰ \times \frac{-۵/۹ \times ۱۰^{-۶} - ۵/۹ \times ۱۰^{-۶}}{۰/۰۵}\right|$$
$$\simeq ۱/۱۸ \times ۱۰^{-۲}\mathrm{V}$$

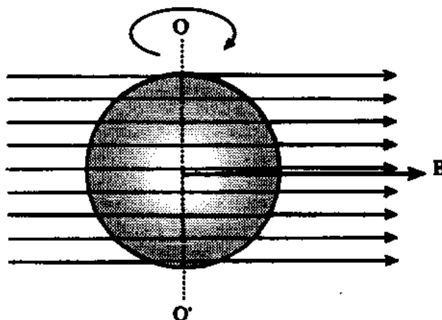
ب) اندازهٔ جریان القایی برابر است با

$$I = \frac{E}{R} = \frac{۱/۱۸ \times ۱۰^{-۲}}{۰/۲} = ۵/۹ \times ۱۰^{-۲}\mathrm{A}$$
$$= ۵۹\mathrm{mA}$$

▲

هرگاه سطحی که در میدان مغناطیسی قرار دارد مانند شکل ۱-۹ حول محور OO' که بر سطح آن واقع است دوران کند، در این‌صورت تغییر زاویهٔ چرخش θ با زمان برابر است با $\theta = \omega t$ که ω بسامد زاویه‌ای چرخش سطح حول محور OO' است. در این رابطه θ برحسب رادیان (rad) و ω برحسب رادیان بر ثانیه (rad/s) است. بنابراین شار مغناطیسی به‌صورت زیر تغییر می‌کند

$$\left|\begin{array}{l}\varphi = AB\cos\theta \\ \theta = \omega t\end{array}\right. \Rightarrow \varphi = AB\cos\omega t = AB\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{۲}\right)$$



شکل ۱-۹

این رابطه نشان می‌دهد که شار مغناطیسی یک تابع سینوسی است و آثار تناوبی دارد و مقدار بیشینهٔ آن برابر است با $\varphi_m = A \cdot B$. رابطهٔ شار مغناطیسی را می‌توان به این‌صورت نیز نوشت

$$\varphi = \varphi_m \cos \omega t = \varphi_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{۲}\right)$$

مثال ۵. حلقه‌ای به مقاومت ۰٫۱ اهم که محیط آن ۱۵٫۷ سانتیمتر است در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی ۰٫۲ تسلا طوری قرار گرفته است که امتداد خطوط میدان با سطح حلقه زاویهٔ °۳۰ ایجاد می‌کند.

الف) چه شاری از حلقه عبور می‌کند و بیشینهٔ شاری که عبور می‌کند چه اندازه است؟

ب) اگر حلقه در هر دقیقه ۹۰ دور حول قطری که عمود بر میدان است بچرخد، شار مغناطیسی به‌چه ترتیبی تغییر می‌کند و بیشینهٔ نیروی محرکهٔ القایی چقدر است؟

پ) جریان القایی بیشینه و بار القایی که در مدت ۱۰ ثانیه از مدار عبور می‌کند چه اندازه است؟

حل: الف) با استفاده از رابطهٔ محیط دایره اندازهٔ شعاع و سطح حلقه را حساب می‌کنیم، داریم

$$C = ۲\pi r \Rightarrow r = \frac{C}{۲\pi} = \frac{۱۵٫۷ \times ۱۰^{-۲}}{۲ \times ۳٫۱۴} = ۲٫۵ \times ۱۰^{-۲}\mathrm{m}$$

$$A = \pi r^۲ = ۳٫۱۴ \times (۲٫۵ \times ۱۰^{-۲})^۲ = ۱۹٫۶۲۵ \times ۱۰^{-۴}\mathrm{m}^۲$$

چون امتداد خطوط القا با سطح حلقه زاویهٔ °۳۰ دارد، پس $\theta = ۶۰^\circ$ است و برای شار مغناطیسی عبوری داریم

$$\varphi = AB\cos\theta = ۱۹٫۶۲۵ \times ۱۰^{-۴} \times ۰٫۲ \times \frac{۱}{۲} \simeq ۱٫۹۶ \times ۱۰^{-۴}\mathrm{Wb}$$

بیشینهٔ شاری که عبور می‌کند برابر است با

$$\varphi_m = AB = ۱۹٫۶۲۵ \times ۱۰^{-۴} \times ۰٫۲ = ۳٫۹۲۵ \times ۱۰^{-۴}\mathrm{Wb}$$

ب) چون هر دور چرخش معادل با ۲π رادیان است، در نتیجه بسامد زاویه‌ای برابر است با

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{۹۰\ (\text{دور}) \times ۲\pi\ (\text{رادیان})}{۶۰\ (\text{ثانیه})} = ۳\pi\ \mathrm{rad/s}$$

و معادلهٔ شار عبارت است از

$$\varphi = \varphi_m \cos\omega t = ۳٫۹۲۵ \times ۱۰^{-۴} \cos ۳\pi t$$

نیروی محرکهٔ القایی $E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ و در یک لحظه برابر است با $E = -\frac{d\varphi}{dt}$، پس

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\omega\varphi_m \sin\omega t \Rightarrow E = \omega AB \sin\omega t$$

برای بیشینهٔ نیروی محرکهٔ القایی داریم $\sin\omega t = ۱$ و از آنجا

$$E_m = \omega \cdot AB = ۳\pi \times ۳٫۹۲۵ \times ۱۰^{-۴} \simeq ۳٫۷ \times ۱۰^{-۳}\mathrm{V}$$

پ) بیشینهٔ جریان القایی که از مدار عبور می‌کند برابر است با

$$I = \frac{E}{R} = \frac{۳/۷ \times ۱۰^{-۳}}{۰/۱} = ۳/۷ \times ۱۰^{-۲}\mathrm{A}$$

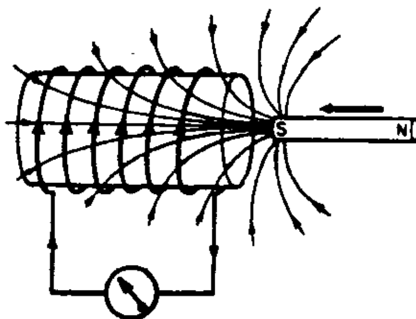
بار القایی برابر است با

$$q = I \cdot t = ۳/۷ \times ۱۰^{-۲} \times ۱۰ = ۰/۳۷\mathrm{C}$$

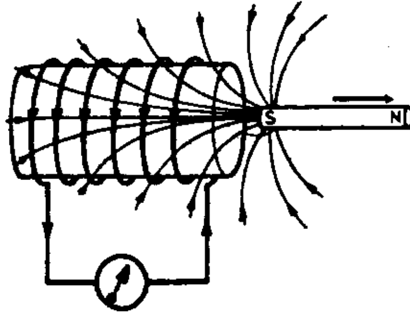
▲

۱ـ۶ قانون لنز

لنز به تجربه دریافت که جهت جریان القایی همواره چنان است که با عاملی که آن‌را به‌وجود می‌آورد مخالفت می‌کند. به عبارت دیگر جهت جریان القایی به‌نحوی است که مانع تغییر شار مغناطیسی شود. اگر در شکل ۱-۱۰ آهنربای NS به‌طرف سیملوله حرکت کند، با تغییر شار مغناطیسی و ایجاد نیروی محرکهٔ القایی، در سیملوله یک جریان القایی به‌وجود می‌آید. میدان مغناطیسی ایجاد شده در سیملوله سبب می‌شود که یک طرف سیملوله قطب شمال و طرف دیگر آن قطب جنوب باشد. قطب شمال آهنربا و قطب شمال سیملوله آن قسمتی است که خطوط القای B از آن خارج می‌شود. بنابر قانون لنز، اگر جریان موجود در حلقه بخواهد با حرکت آهنربا که عامل به‌وجود آورندهٔ آن است مخالفت کند باید سطح حلقه که به طرف آهنرباست قطب S باشد تا دو قطب همنام یکدیگر را دفع کنند. در شکل ۱-۱۱ وقتی آهنربای NS از سیملوله دور شود، جریان القایی ایجاد شده در سیملوله یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. به این ترتیب یک طرف سیملوله قطب شمال و طرف دیگر آن قطب جنوب می‌شود. بنابر قانون لنز، اگر جریان القایی بخواهد مانع تغییر شار مغناطیسی شود و به عبارت دیگر با عامل به‌وجود آورندهٔ خود مخالفت کند باید سطح سیملوله که به‌طرف آهنرباست قطب شمال باشد تا دو قطب ناهمنام یکدیگر را جذب کنند. قانون لنز مثالی از کاربرد قانون بقای انرژی است، زیرا با ایجاد جریان القایی در یک مدار انرژی الکتریکی به مصرف می‌رسد و منبع تولید این انرژی کاری است که آهنربا هنگام حرکت انجام می‌دهد. به این ترتیب باید در مقابل انجام این‌کار نیروی مخالفی موجود باشد تا این انرژی را به مصرف برساند.



شکل ۱-۱۰



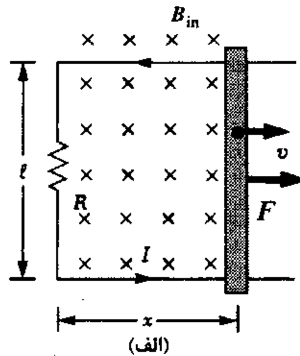
شکل۱-۱۱

۱ـ۷ محاسبهٔ نیروی محرکهٔ القایی

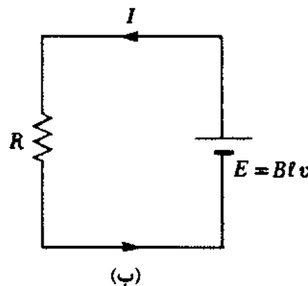
سیم U شکلی مطابق شکل ۱-۱۲ الف در میدان مغناطیسی درون‌سو قرار دارد و سیمی به‌طول l می‌تواند روی سیم U شکل حرکت کند. با حرکت سیم، شار مغناطیسی که از سطح سیم U شکل می‌گذرد تغییر می‌کند. مقدار شار در هر لحظه برابر $\varphi = Blx$ است که lx سطح آن قسمت از مدار بسته‌ای است که در میدان B قرار دارد، ($\cos\theta = ۱$). به این‌ترتیب نیروی محرکهٔ القایی برابر است با

$$E = -\frac{d\varphi}{dt} = -Bl\frac{dx}{dt}$$

اگر $v = \frac{-dx}{dt}$ را در رابطهٔ بالا قرار دهیم، نتیجه می‌شود $E = Bvl$.



(الف)



(ب)

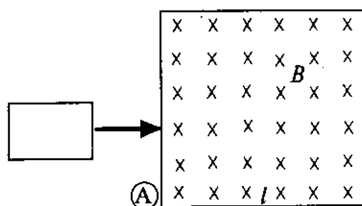
شکل۱-۱۲

در این فرمول l طول رسانایی است که در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند با یکای متر (m)، B بزرگی میدان مغناطیسی با یکای تسلا (T) و v سرعت حرکت رسانا در این میدان با یکای متر بر ثانیه (m/s) و E نیروی محرکهٔ القایی با یکای ولت (V) است. هرگاه امتداد حرکت سیم (v) با امتداد خطوط میدان (B) زاویهٔ α ایجاد کند، اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی برابر است با

$$E = B \cdot v \cdot l \sin\alpha$$

در شکل ۱-۱۲ ب مدار معادل شکل ۱-۱۲ الف نشان داده شده است.

مثال ۶. حلقه‌ای فلزی به شکل مربع مطابق شکل ۱-۱۳ با سرعت ثابت وارد میدان مغناطیسی درون‌سوی یکنواخت شده و از طرف دیگر آن خارج می‌شود. نمودار تغییرات شاری که از حلقه می‌گذرد و نیروی محرکهٔ القاشده را برحسب زمان رسم کنید.

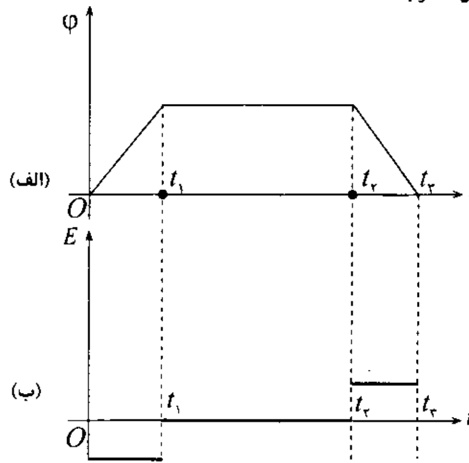


شکل ۱-۱۳

حل: شار مغناطیسی که از حلقه عبور می‌کند با گذشت زمان به‌طور خطی تغییر می‌کند. هرگاه طول هر ضلع مربع l باشد، شاری که در مدت $\Delta t_۱$ پس از ورود به میدان از آن می‌گذرد برابر است با

$$\varphi_۲ = BA\cos\theta = BA$$

$\Delta t_۱$ زمان بین دو لحظهٔ صفر و $t_۱$ لحظه‌ای است که حلقه کاملاً وارد میدان مغناطیسی می‌شود. A سطح حلقه است که عمود بر خطوط میدان مغناطیسی است و $\cos\theta = ۱$. در مدت زمان $\Delta t_۱$ شاری که از حلقه می‌گذرد از $\varphi_۱ = ۰$ به $\varphi_۲$ افزایش می‌یابد و در حلقه نیروی محرکهٔ القایی به‌وجود می‌آید. چون شار تابع خطی زمان است، $E = -d\varphi/dt$، در نتیجه مقدار نیروی محرکهٔ القایی ثابت است. پس از ورود کامل حلقه به میدان مغناطیسی شاری که از حلقه عبور می‌کند برابر $\varphi_۲ = BA$ است و تا زمانی‌که حلقه از میدان مغناطیسی خارج می‌شود ثابت است. در این مدت یعنی از لحظهٔ $t_۱$ تا لحظهٔ $t_۲$ نیروی محرکه‌ای القا نمی‌شود زیرا شار ثابت است ولی از لحظهٔ $t_۲$ تا $t_۳$ که حلقه از میدان خارج می‌شود شار مغناطیسی که از حلقه می‌گذرد کاهش می‌یابد تا به صفر برسد. در این مدت با تغییر شار، نیروی محرکه القا می‌شود. شکلهای ۱-۱۴ الف و ب تغییرات شار و نیروی محرکهٔ القاشده را نسبت به زمان نشان می‌دهند.

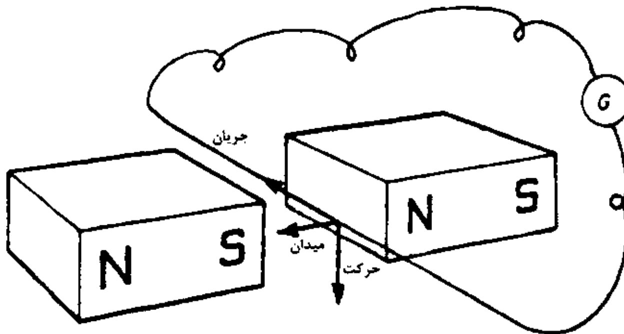


شکل۱-۱۴



۱ـ۸ روش دیگر برای محاسبهٔ نیروی محرکهٔ القایی

هرگاه مطابق شکل ۱-۱۵ سیمی به‌طول l در میدان مغناطیسی و عمود بر خطوط نیرو حرکت کند، الکترونهای موجود در اتمهای درون سیم که دارای بار $q = ne$ هستند تحت تأثیر نیروی F قرار می‌گیرند که موازی با سیم است و در نتیجه به یک سر سیم منتقل می‌شوند. در آن طرف سیم پتانسیل منفی و در طرف دیگر سیم که کاهش الکترون وجود دارد پتانسیل مثبت به‌وجود می‌آید. در نتیجه بین دو سر سیم اختلاف پتانسیل القایی برقرار می‌شود.



شکل۱-۱۵

نیروی محرکه‌ای که به این ترتیب در سیمی به‌طول l ایجاد می‌شود نشان‌دهندهٔ مقدار کاری است که یکای بار الکتریکی به هنگام عبور جریان از یک سر رسانا به سر دیگر آن انجام می‌دهد. مقدار کار انجام‌شده برابر است با حاصلضرب نیرو در تغییر مکان، پس

$$W = F \cdot l = Bqvl$$

از طرف دیگر اختلاف پتانسیل القایی دو سر سیم برابر است با مقدار انرژی که صرف می‌شود تا بار الکتریکی q را از یک سر سیم به سر دیگر سیم منتقل کند یعنی، $V = \frac{W}{q}$. به این ترتیب نیروی محرکهٔ القایی یا اختلاف پتانسیل القایی برابر است با

$$E = V = \frac{W}{q} = \frac{Bq \cdot vl}{q} = Bvl$$

مثال ۷. سرعت هواپیمایی ۹۰۰ کیلومتر بر ساعت است. مؤلفهٔ قائم بزرگی میدان مغناطیسی زمین $۲/۵ \times ۱۰^{-۵}\mathrm{T}$ است. نیروی محرکهٔ حاصل بین دو انتهای بال هواپیما را پیدا کنید، در صورتی‌که طول هر بال هواپیما ۱۲/۵ متر باشد و هواپیما افقی پرواز کند.

حل: نیروی محرکهٔ القایی بین دو سر بال هواپیما برابر است با

$$E = Bvl \sin\alpha$$

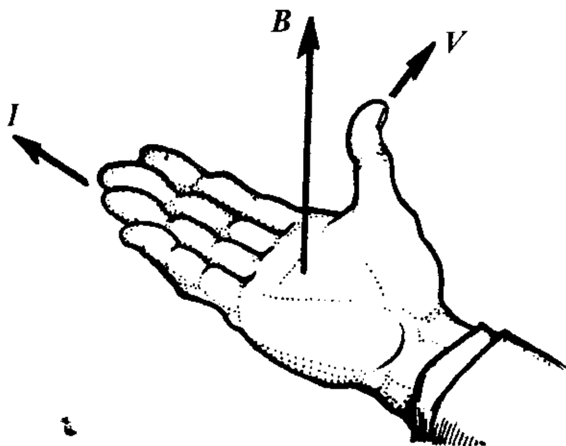
چون هواپیما افقی پرواز می‌کند، $\alpha = \frac{\pi}{۲}$، $\sin\alpha = ۱$ و $l = ۲۵$ متر است. پس

$$E = ۲/۵ \times ۱۰^{-۵} \times \frac{۹۰۰,۰۰۰}{۳۶۰۰} \times ۲۵ \simeq ۰/۱۶\mathrm{V}$$

▲

۱ـ۹ جهت جریان القایی

جهت جریان القایی در شکل ۱-۱۶ نشان داده شده است. هرگاه امتداد میدان مغناطیسی عمود بر کف دست راست و از N به طرف S باشد و انگشت شست جهت حرکت رسانا را نشان دهد انگشتان باز شده جهت جریان القایی را مشخص می‌کنند.



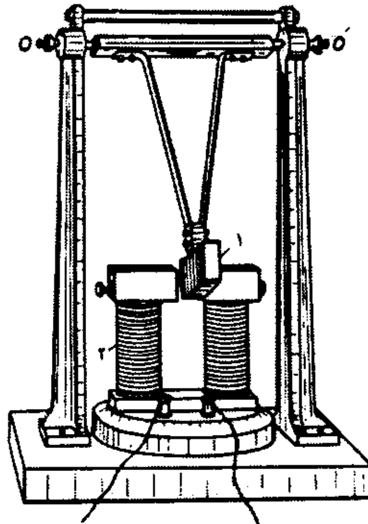
شکل ۱-۱۶

۱ـ۱۰ جریان فوکو (جریان گردابی)

هرگاه شار مغناطیسی که از یک قطعه فلز می‌گذرد تغییر کند، در آن فلز جریان القایی به‌وجود می‌آید. چنین جریانی را جریان گردابی[1] یا به احترام کاشف آن فوکو[2]، فیزیکدان فرانسوی، جریان فوکو می‌نامند. در مبدلها (ترانسفورماتورها) و در مولدهای الکتریکی قطعه‌های فلزی موجود است که چون در میدانهای متغیر مغناطیسی قرار دارند در آنها جریان الکتریکی القایی در مسیرهای بسته دایره‌ای شکل به‌وجود می‌آید. جهت این‌گونه جریانها طوری است که میدانهای مغناطیسی حاصل از آنها بر میدانهای مغناطیسی ایجادکنندهٔ آنها اثر می‌کند و مانع از حرکت قطعه‌های فلزی می‌شود.

برای مشاهدهٔ اثر جریان فوکو می‌توان آزمایش سادهٔ زیر را انجام داد.

یک قطعهٔ فلزی ۱ را مطابق شکل ۱-۱۷ به ریسمانی می‌بندیم و آن‌را به‌صورت یک آونگ حول محور OO' به نوسان درمی‌آوریم. آزمایش نشان می‌دهد که اگر در مسیر حرکت این آونگ یک آهنربای الکتریکی را قرار دهیم به‌طوری‌که قطعهٔ فلزی شار مغناطیسی را قطع کند حرکتش کند می‌شود و می‌ایستد. علت توقف قرص فلزی آن است که هنگام تغییر شار مغناطیسی در آن جریان گردابی به‌وجود می‌آید. این جریان میدانی به‌وجود می‌آورد که در خلاف جهت میدان مغناطیسی اصلی است.



شکل۱-۱۷

جریان فوکو در توده‌های فلزی تولید گرما می‌کند و بخشی از انرژی مفید از این راه تلف می‌شود. از این‌رو هسته‌های فلزی مبدلها و مولدها را به‌جای قطعهٔ یک‌پارچه از ورقه‌های فلزی می‌سازند که میان

1- eddy current 2- Foucault, Jean Bernard Leon

آنها صفحه‌های عایق الکتریسیته قرار دارد تا جریان فوکو ناچیز باشد. برای متوقف کردن دستگاههای متحرک می‌توان از ترمزهای الکتریکی که براساس تولید جریان فوکو کار می‌کنند استفاده کرد.

مثال ۸. سیم‌پیچی را مطابق شکل ۱-۱۸ الف روبه‌روی یک آهنربای الکتریکی قرار می‌دهیم. جهت جریان الکتریکی را در حالتهای زیر معین کنید

الف) لحظه‌ای که کلید بسته می‌شود.

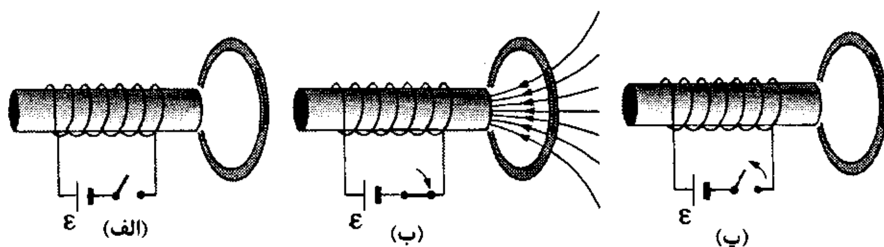
ب) چند ثانیه پس از بسته ماندن کلید.

پ) لحظه‌ای که کلید باز می‌شود.

حل: الف) در لحظه‌ای که کلید باز است شاری از سیم‌پیچ نمی‌گذرد ولی در لحظهٔ اتصال کلید آهنربای الکتریکی میدانی تولید می‌کند و در نتیجه شاری از سیم‌پیچ می‌گذرد. بنابراین در مدت کوتاهی که شار تغییر می‌کند جریان القایی مطابق شکل ۱-۱۸ ب در سیم‌پیچ تولید می‌شود. این جریان میدانی در جهت چپ به راست خواهد داشت.

ب) چند ثانیه پس از آنکه کلید بسته شود شار مغناطیسی ثابت می‌ماند و جریان القایی صفر خواهد شد.

پ) لحظه‌ای که کلید باز می‌شود میدان مغناطیسی که جهت آن از راست به چپ بود کاهش می‌یابد تا به صفر برسد. در این‌صورت جریان القایی در مدار سیم‌پیچ مطابق شکل ۱-۱۸ پ در جهتی است که می‌خواهد میدان را از راست به چپ برقرار کند.



شکل۱-۱۸

▲

خلاصهٔ فصل

در فضای اطراف هر آهنربا میدان مغناطیسی موجود است. وجود این میدان با خطهای نیرو نشان داده می‌شود. هر خط نیرو منحنی بسته‌ای است که در بیرون آهنربا از قطب N به S و درون آهنربا از S به

N امتداد دارد. برای خط نیرو جهتی درنظرگرفته می‌شود که بیرون از آهنربا از N به S و درون آهنربا از S به N است. در هر نقطه از خط نیرو برداری می‌توان رسم کرد که معرف بزرگی و جهت میدان مغناطیسی است. این بردار که آن‌را با $\mathbf{B}$ نشان می‌دهند، در هر نقطه بر خط نیرو مماس است. بزرگی بردار معرف تراکم خطهای نیرو است.

هرگاه سطح محدودی در برابر خطهای نیرو قرار گیرد، تعدادی خط نیرو از آن می‌گذرد. شار مغناطیسی حاصلضرب دو بردار $\mathbf{A}$ و $\mathbf{B}$ است و اندازهٔ آن برابر است با

$$\varphi = AB\cos\theta$$

θ زاویه‌ای است که میدان B با بردار سطح A می‌سازد.

فارادی با انجام آزمایشهایی به این نتیجه رسید که هرگاه خطهای مغناطیسی توسط یک رسانا قطع شود، در دو سر آن رسانا نیروی محرکه‌ای به‌وجود می‌آید که آن‌را نیروی محرکهٔ القایی می‌نامند. چنانچه مدار بسته باشد و در آن شار مغناطیسی تغییر کند جریان الکتریکی در آن مدار به‌وجود می‌آید که آن‌را جریان القایی می‌نامند. نیروی محرکهٔ القایی متوسط از رابطهٔ $\overline{E}= -\Delta\varphi/\Delta t$ و نیروی محرکهٔ لحظه‌ای از رابطهٔ $E = -d\varphi/dt$ به‌دست می‌آید.

علامت منها معرف قانون لنز است. برطبق قانون لنز سوی جریان القایی چنان است که با آثار الکترومغناطیسی که به‌وجود می‌آورد با عامل ایجادکنندهٔ خود مخالفت می‌کند.

چنانچه یک جسم رسانا مانند یک قطعه فلز در میدان مغناطیسی متغیر قرار گیرد در آن جریان القایی تولید می‌شود که جریان القایی تولیدشده در قطعه‌های فلزی را جریان گردابی یا فوکو می‌نامند.

هدفهای آموزشی

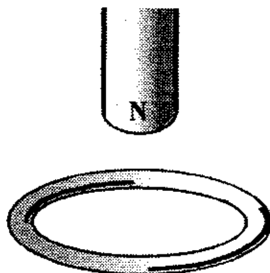
اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- میدان مغناطیسی را تعریف کنید.
- شار مغناطیسی و چگالی شار مغناطیسی را توضیح دهید و رابطهٔ آن‌را بنویسید.
- قانون القای الکترومغناطیسی را با کمک آزمایشهای فارادی بیان کنید.
- روشهای مختلف ایجاد جریان القایی را شرح دهید.
- قانون لنز دربارهٔ القای الکترومغناطیسی را توضیح دهید.
- نیروی محرکهٔ القایی را بیان کنید و رابطهٔ آن‌را به‌دست آورید.
- جریان گردابی یا فوکو را توضیح دهید.
- رابطه‌های $\varphi = BA\cos\theta$ و $E = -N\Delta\varphi/\Delta t$ و $E = Bvl\sin\alpha$ را در حل مسائل به‌کار برید.

خود را بیازمایید

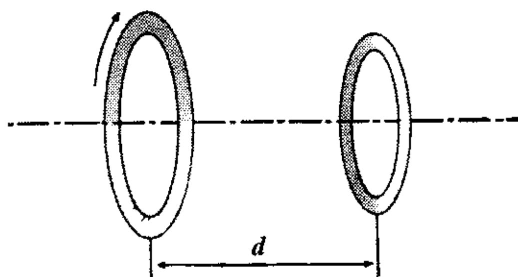
پرسشها

۱. الف) مطابق شکل ۱-۱۹ قطب شمال مغناطیسی را از یک حلقهٔ فلزی دور می‌کنیم، جهت جریان القایی در حلقه چگونه است؟
ب) اگر قطب شمال به حلقه نزدیک شود، جهت جریان چگونه است؟



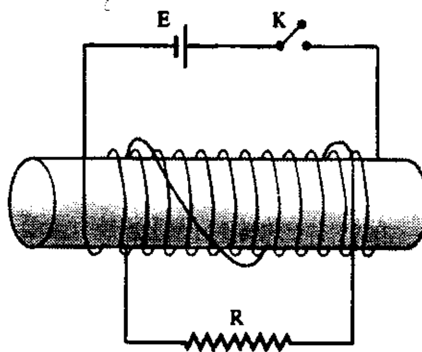
شکل۱-۱۹

۲. دو حلقهٔ رسانا با شعاعهای مختلف و موازی با یکدیگر مطابق شکل ۱-۲۰ طوری قرار دارند که محور آنها یکی است. فاصلهٔ دو حلقه از یکدیگر برابر با d است. اگر در حلقهٔ بزرگتر ناگهان جریانی ساعتگرد به‌وجود آید، جهت جریان القایی در حلقهٔ کوچکتر را تعیین کنید.



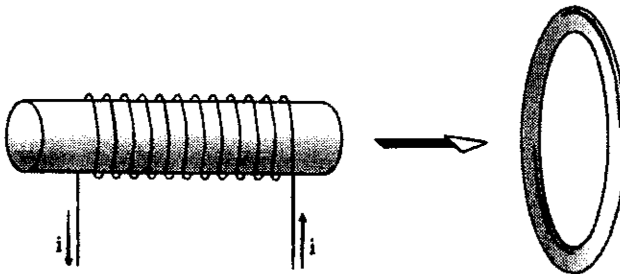
شکل۱-۲۰

۳. جهت جریانی را که از مقاومت R در شکل ۱-۲۱ عبور می‌کند در حالتهای زیر پیدا کنید
الف) به هنگام بستن کلید.
ب) زمانی‌که کلید بسته است.
پ) به هنگام قطع کلید.
ت) کدام سر میله قطب شمال است؟



شکل۱-۲۱

۴. در شکل ۱-۲۲ یک سر سیملوله‌ای با هستهٔ آهنی را که از آن جریان I می‌گذرد به‌طرف حلقه حرکت می‌دهیم.
الف) جهت جریان القایی چگونه است؟
ب) اگر مقاومت R در مدار اضافه شود در اندازه و جهت جریان القایی در حلقه چه تغییری به‌وجود می‌آید؟



شکل۱-۲۲

۵. سیمی را به موازات خطوط میدان مغناطیسی حرکت می‌دهیم. جهت جریان القایی در سیم چگونه است و چرا؟
۶. چرا حلقهٔ فلزی ساکن در میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد جریان القایی نمی‌کند؟ علت را شرح دهید.
۷. وقتی یک قطار غیرالکتریکی روی ریلهای خود حرکت می‌کند، اختلاف پتانسیل کوچکی بین دو ریل به‌وجود می‌آید، علت را توضیح دهید. مقدار و علامت این اختلاف پتانسیل به کدامیک از عوامل زیر بستگی دارد؟
الف) سرعت حرکت قطار.
ب) راستای حرکت قطار (نسبت به راستای شمال و جنوب).
پ) دور شدن یا نزدیک شدن قطار به ناظر.

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. شار مغناطیسی که از هر یک از ۵۰ حلقهٔ سیم‌پیچی در مدت ۰٫۰۱ ثانیه می‌گذرد از ۴×۱۰^{-۴} وبر به -۲×۱۰^{-۴} وبر تغییر می‌کند. اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی متوسط چند ولت است؟

الف) ۳　　ب) ۱　　پ) ۴　　ت) ۲

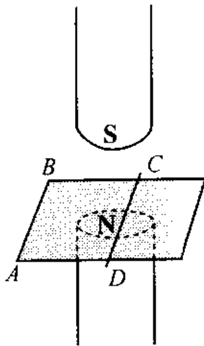
۲. در شکل ۱-۲۳ میلهٔ CD چگونه حرکت داده شود تا جهت جریان القایی از B به‌طرف A باشد؟

الف) به‌سمت راست کشیده شود.

ب) به‌سمت چپ کشیده شود.

پ) در راستای خود جلو کشیده شود.

ت) در راستای خود عقب برده شود.



شکل ۱-۲۳

۳. در سیم‌پیچی که در یک میدان مغناطیسی قرار دارد شار مغناطیسی نسبت به زمان به‌صورت $\varphi = ۵ \cos ۶۰ t$ (برحسب وبر) تغییر می‌کند. بیشینهٔ نیروی محرکهٔ القایی در دو سر سیم‌پیچ چند ولت است؟

الف) صفر　　ب) ۵　　پ) $۵\sqrt{۲}$　　ت) ۳۰۰

۴. سیمی به‌طول ۲۰ سانتیمتر با سرعت 5m/s عمود بر خطوط میدان مغناطیسی به‌شدت ۵۰۰ گاؤس حرکت می‌کند. نیروی محرکهٔ القایی دو سر سیم چند ولت است؟

الف) ۰٫۰۵　　ب) ۰٫۵　　پ) ۵۰　　ت) ۵۰۰

۵. شار مغناطیسی که از یک سیم‌پیچ می‌گذرد، در مدت ۰٫۱ ثانیه به‌طور منظم از ۰٫۲− وبر به ۰٫۲+ وبر تغییر کرده است. نیروی محرکهٔ القایی چند ولت است؟

الف) ۰٫۵　　ب) ۱　　پ) ۲　　ت) ۴

۶. شار مغناطیسی که از یک سطح بسته می‌گذرد،

الف) بستگی به جریانهایی دارد که نزدیک آن سطح وجود دارد.

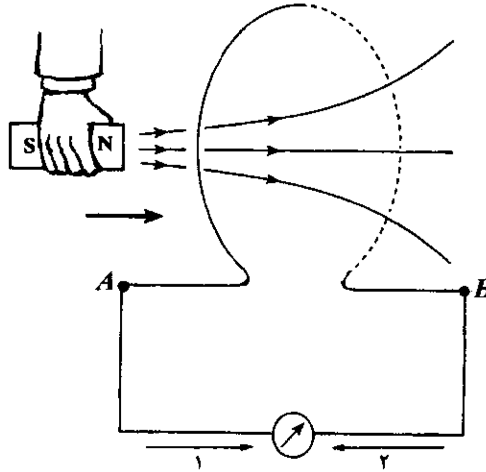
ب) بستگی به آهنربایی دارد که نزدیک آن سطح وجود دارد.

پ) ممکن است صفر نباشد.

ت) همواره صفر است.

۷. مطابق شکل ۱-۲۴ آهنربایی از طرف چپ وارد حلقه شده و از طرف راست از آن خارج می‌شود. جریان القایی، موقع وارد شدن و خارج‌شدن آهنربا به ترتیب از راست به چپ درکدام جهت است؟

الف) ۱ و ۱ ب) ۱ و ۲ پ) ۲ و ۱ ت) ۲ و ۲



شکل ۱-۲۴

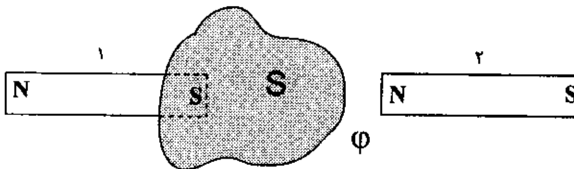
۸. مطابق شکل ۱-۲۵ قسمتی از آهنربای ۱ داخل سطح بستهٔ S می‌شود ولی تمام آهنربای ۲ بیرون آن قرار دارد. شار مغناطیسی φ از سطح S می‌گذرد. کدام گزینه درست است؟

الف) اگر آهنربای ۱ را بیشتر وارد سطح S کنیم، φ زیاد می‌شود.

ب) اگر آهنربای ۲ را بیشتر وارد سطح S کنیم، φ کم می‌شود.

پ) اگر آهنربای ۲ را بیشتر وارد سطح S کنیم، φ زیاد می‌شود.

ت) اگر آهنربای ۱ را از سطح S بیرون بیاوریم φ تغییر نمی‌کند.



شکل۱-۲۵

۹. تغییر شار مغناطیسی در واحد زمان در SI برابر است با

الف) انرژی الکتریکی ب) بار الکتریکی

پ) شدت جریان القایی ت) نیروی محرکهٔ القایی

۱۰. شار مغناطیسی که از یک سیم‌پیچ می‌گذرد در SI به‌صورت $\varphi = ۰/۵ \sin ۱۰۰t$ تغییر می‌کند. بیشترین نیروی محرکهٔ القایی در آن چند ولت است؟

الف) ۰/۵ ب) $۲۵\sqrt{۲}$ پ) ۵۰ ت) $۵۰\sqrt{۲}$

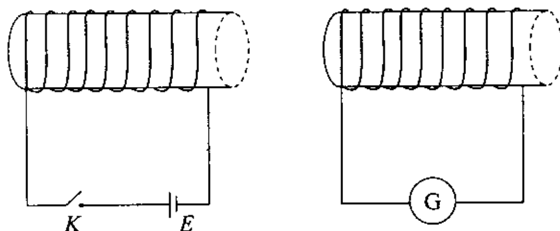
۱۱. شار مغناطیسی که از یک سیم‌پیچ می‌گذرد در SI به‌صورت $\varphi = ۵ \sin ۱۰۰t$ تغییر می‌کند. بیشترین نیروی محرکهٔ القایی چند ولت است؟

الف) ۵ ب) ۱۰۰ پ) ۲۵۰ ت) ۵۰۰

۱۲. در شکل ۱-۲۶ دو سیم‌پیچ مقابل هم قرار دارند و نسبت به هم جابه‌جا نمی‌شوند. گالوانومتر در کدام مورد عبور جریان الکتریسیته را نشان می‌دهد؟

الف) از لحظهٔ وصل تا لحظهٔ قطع کلید. ب) در لحظهٔ قطع یا وصل کلید.

پ) فقط در لحظهٔ وصل کلید. ت) فقط در لحظهٔ قطع کلید.



شکل۱-۲۶

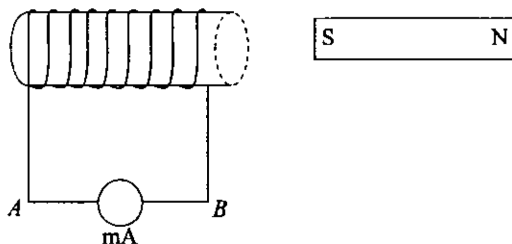
۱۳. در شکل ۱-۲۷ هنگام نزدیک کردن آهنربا به سیم‌پیچ جهت جریان القایی در میلی آمپرسنج چگونه است؟

الف) از A به‌طرف B.

ب) به تناوب از A به B و برعکس.

پ) از B به‌طرف A.

ت) بستگی به شتاب حرکت آهنربا دارد.



شکل۱-۲۷

۱۴. سیم‌پیچی در یک میدان مغناطیسی قرار دارد. شار مغناطیسی که از سیم‌پیچ عبور می‌کند به‌صورت $\varphi = 5t$ با زمان تغییر می‌کند. نیروی محرکهٔ القایی در دو سر سیم‌پیچ چگونه است؟

الف) تناوبی است. ب) صفر است.

پ) متناسب با زمان تغییر می‌کند. ت) مقدار ثابتی است.

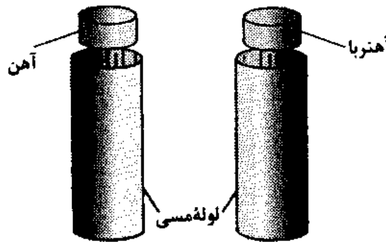
۱۵. یک آهنربا و یک آهن که ظاهراً مشابه‌اند، مطابق شکل ۱-۲۸ در داخل دو لولهٔ مسی و بدون آنکه با دیوارهٔ لوله‌ها در تماس باشند سقوط می‌کنند. سرعت آهنربا هنگام خروج از لوله نسبت به سرعت آهن چگونه است؟

الف) بیشتر

ب) کمتر

پ) مساوی

ت) بسته به شرایط هر سه حالت ممکن است رخ دهد.

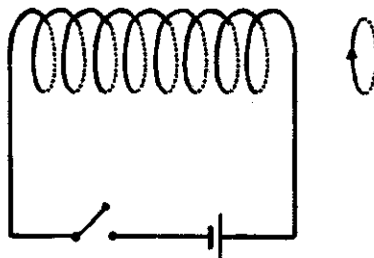


شکل۱-۲۸

۱۶. در شکل ۱-۲۹ چه وقت جریان القایی در حلقه در جهتی است که با پیکان مشخص شده است؟

الف) قطع کلید. ب) وصل کلید.

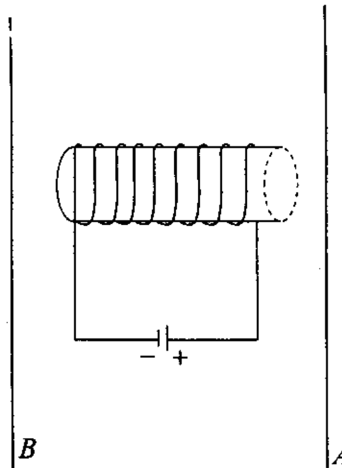
پ) قطع و وصل کلید. ت) وقتی شدت جریان بیشینه باشد.



شکل۱-۲۹

۱۷. در شکل ۱-۳۰ اگر دو سیم را عمود بر صفحهٔ کاغذ و رو به بالا به موازات خود حرکت دهیم، جریان القایی در دو سیم A و B به‌ترتیب از راست به چپ کدام است؟

الف) ↑ و ↑　　ب) ↓ و ↓　　پ) ↓ و ↑　　ت) ↑ و ↓



شکل۱-۳۰

۱۸. با قرار دادن یک سیملوله در یک میدان می‌توان در آن جریان الکتریکی برقرار کرد. این میدان چیست؟

الف) مغناطیسی متغیر.

ب) مغناطیسی ثابت.

پ) گرانش.

ت) الکتریکی ثابت.

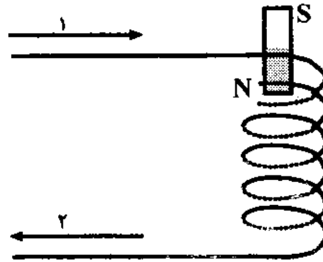
۱۹. قابی به مساحت A در یک میدان مغناطیسی یکنواخت با بزرگی B طوری قرار دارد که خطوط القا با سطح قاب زاویهٔ ۶۰ درجه می‌سازد. شار مغناطیسی که از قاب می‌گذرد کدام است؟

الف) $\frac{1}{2}AB$　　ب) AB　　پ) $\sqrt{3}AB$.　　ت) $\frac{\sqrt{3}}{2}AB$

۲۰. یک آهنربا مطابق شکل ۱-۳۱ درون سیملوله‌ای سقوط می‌کند. جریان در سیملوله را هنگام ورود آهنربا با I_1 و هنگام خروج با I_2 نشان می‌دهیم. دو جهت ممکن جریان روی شکل با شماره‌های ۱ و ۲ مشخص شده‌اند. کدام گزینه از نظر تطبیق جهت جریانها با شماره‌ها درست است؟

الف) I_1 در جهت ۱ و I_2 در جهت ۱　　ب) I_1 در جهت ۱ و I_2 در جهت ۲

پ) I_1 در جهت ۲ و I_2 در جهت ۱　　ت) I_1 در جهت ۲ و I_2 در جهت ۲



شکل۱-۳۱

تمرینها

۱. یک میلهٔ فلزی به‌طول ۲۰cm و مقاومت ۱۰Ω در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی ۰/۱ تسلا قرار دارد و به مولدی با نیروی محرکهٔ ۱۰ ولت و مقاومت داخلی ۰/۰۰۱ اهم متصل است. بر اثر تأثیر میدان بر جریان، میلهٔ فلزی با سرعت ۳۶km/h عمود بر خطوط میدان B حرکت می‌کند. چه جریانی از میله می‌گذرد؟

پاسخ: ۰/۹۸ آمپر

۲. پیچهٔ مسطحی به شعاع ۳ سانتیمتر شامل ۵۰ حلقه است و عمود بر میدان مغناطیسی قرار دارد. در مدت ۲ میلی‌ثانیه بزرگی میدان مغناطیسی از ۰/۱ تسلا به ۰/۳۵ تسلا افزایش می‌یابد. نیروی محرکهٔ القایی متوسط که در پیچه القا می‌شود چند ولت است؟

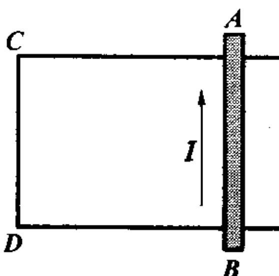
پاسخ: $|E| =$ ۱۷/۷ ولت

۳. سیمی به‌طول ۱/۵m با سرعت ثابت ۸۶/۴km/h در یک میدان مغناطیسی با بزرگی ۵۰ میلی‌تسلا که با خطوط میدان زاویهٔ °۳۰ دارد حرکت می‌کند.

الف) اختلاف پتانسیل القایی دو سر این سیم را حساب کنید.

ب) هرگاه مقاومت هر متر سیم ۱/۲ اهم باشد، چه جریانی از آن می‌گذرد؟

پاسخ: الف) ۰/۹ ولت ب) $\frac{۱}{۲}$ آمپر



شکل ۱-۳۲

۴. در شکل ۱-۳۲ میلهٔ رسانای AB با مدار U شکل در تماس است. این قاب در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی ۰/۵ تسلا که عمود بر سطح آن است قرار دارد.

الف) هرگاه میله با سرعت ۱۴/۴ کیلومتر بر ساعت به‌سمت راست حرکت کند، اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی را در میله معین کنید.

ب) اگر مقاومت مدار $ABCD$ برابر ۰/۲ اهم و ثابت فرض شود چه نیرویی لازم است تا حرکت میله را پایدار نگهدارد؟ (از اصطکاک صرفنظر می‌شود)

پاسخ: الف) ۱ ولت ب) ۱/۲۵ نیوتون

۵. پیچهٔ مسطحی به شعاع ۸ میلیمتر شامل ۵۰۰ حلقه است و در میدان مغناطیسی به شدت ۰٫۳ تسلا به طریقی قرار دارد که بیشترین شار مغناطیسی از آن می‌گذرد. در مدت ۰٫۰۲ ثانیه آن‌را به وضعی درمی‌آوریم که از آن شاری عبور نکند. نیروی محرکهٔ القاشده در دو سر پیچه را پیدا کنید.
پاسخ: $|E| = ۰٫۴۸\pi$ ولت

۶. سیم راستی به‌طول ۳۰ سانتیمتر با سرعت ۱۶۲ کیلومتر بر ساعت در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی ۰٫۴ تسلا و عمود بر راستای خطوط میدان حرکت می‌کند.
الف) نیروی محرکهٔ القایی که در آن تولید می‌شود چند ولت است؟
ب) اگر مقاومت سیم ۱٫۸ اهم باشد، چه جریانی از آن می‌گذرد؟
پاسخ: الف) ۵٫۴ ولت ب) ۳ آمپر

۷. پیچهٔ مسطحی به قطر ۶cm را که دارای ۱۰۰ حلقه است و ۵ اهم مقاومت دارد بین دو قطب یک آهنربا طوری قرار می‌دهیم که شار مغناطیسی گذشته از آن بیشینه باشد. پیچه به گالوانومتری به مقاومت ۵۹۵ اهم بسته شده است. هنگامی‌که پیچه را به‌طور ناگهانی از میدان مغناطیسی بیرون آوریم بار $۱۰^{-۴}$ کولن از گالوانومتر عبور می‌کند. بزرگی میدان مغناطیسی بین دو قطب آهنربا را محاسبه کنید.
پاسخ: $B = ۰٫۲۱۲\mathrm{T}$

۸. سیملوله‌ای دارای ۱۰۰۰ حلقه است و در میدان مغناطیسی که در امتداد محور آن است قرار دارد. سطح هر حلقهٔ سیملوله ۴ سانتیمترمربع و مقاومت آن ۱۶۰ اهم است. توان تلف‌شده در سیملوله را حساب کنید، در صورتی‌که بزرگی میدان مغناطیسی $۱۰۰٫۴۸ \times ۱۰^{-۷}$ تسلا باشد.
پاسخ: $۱٫۰۱ \times ۱۰^{-۱۳}$ وات

۹. سیملوله‌ای ۸۰ حلقه دارد که قطر هر حلقهٔ آن ۸cm است. این سیملوله در یک میدان مغناطیسی با بزرگی ۰٫۰۶ تسلا قرار دارد. هرگاه در مدت ۰٫۲ ثانیه سیملوله ۱۸۰ درجه بچرخد، نیروی محرکهٔ القایی متوسط تولیدشده را در سیملوله پیدا کنید.
پاسخ: ۰٫۲۴ ولت

۱۰. میله‌ای به‌طول ۳۰ سانتیمتر عمود بر میدان مغناطیسی به‌شدت ۰٫۸ تسلا و با سرعت ۵۰ سانتیمتر بر ثانیه حرکت می‌کند. نیروی محرکهٔ القایی ایجاد شده در میله را به‌دست آورید.
پاسخ: $|E| = ۰٫۱۲$ ولت

۲

تولید جریان القایی و کاربردهای آن

۲ـ۱ مقدمه

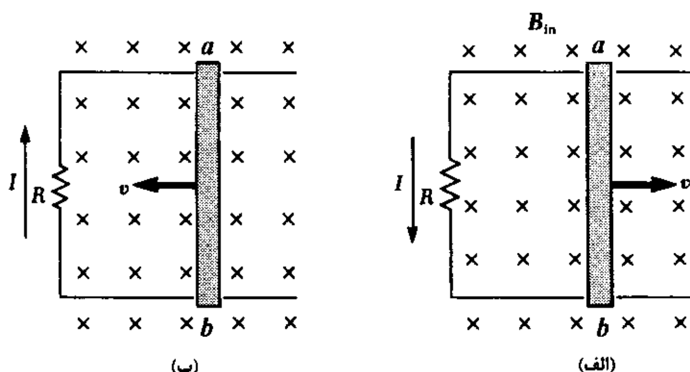
کشف پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی، اختراعات و اکتشافات بزرگی درپی داشت. با کشف این پدیده بود که مولدهای بزرگ الکتریسیته ساخته شد و انرژی الکتریکی فراوانی به‌دست آمد. این انرژی به‌کمک مبدل (ترانسفورماتور) و با استفاده از کابلهای طولانی به فاصله‌های دور انتقال یافت. انرژی الکتریکی در لامپها، روشنایی و در بخاریها، گرمی به‌وجود آورد. انواع موتورهای الکتریکی در کارخانه‌ها، مزارع، ساختمانها و خانه‌ها به‌کار افتاد و شکل زندگی ازنظر سرعت جابه‌جایی، بهداشت، مصرف مواد و سرانجام ارتباطات کاملاً دگرگون شد.

در این فصل ابتدا چگونگی تولید جریان الکتریکی القایی را مورد بحث قرار خواهیم داد و سپس به ساختمان آلترناتور، مولد جریان مستقیم و مبدل خواهیم پرداخت.

۲ـ۲ روشهای تولید جریان القایی

طبق قانون فارادی، شرط آنکه جریانی القایی در یک مدار تولید شود آن است که شاری که از مدار می‌گذرد تغییر کند. با توجه به رابطهٔ $\varphi = A \cdot B \cdot \cos\theta$، برای آنکه φ تغییر کند لازم است حداقل یکی از سه عامل A یعنی سطح مدار، B یعنی میدان مغناطیسی یا θ یعنی زاویهٔ بین میدان با بردار سطح تغییر کند.

۱ـ تغییر A. هرگاه مدار بسته‌ای مطابق شکل ۲-۱ از یک رسانای U شکل که میلهٔ رسانای ab روی آن می‌لغزد تهیه کنیم که در میدان مغناطیسی نشان داده شده قرار داشته باشد، چنانچه رسانای ab به‌طول l را به راست شکل ۲-۱ الف یا چپ شکل ۲-۱ ب حرکت دهیم، به‌طوری‌که سطحی که از آن شار مغناطیسی می‌گذرد تغییر کند، در مدار یک جریان الکتریکی القایی تولید می‌شود. اگر مقاومت مدار



شکل۲-۱

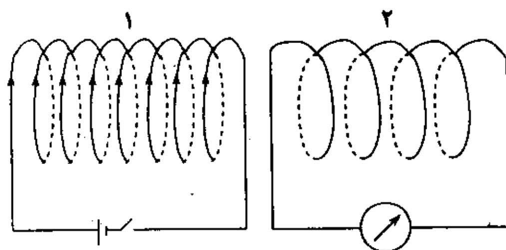
R باشد، جریان تولیدشده از رابطهٔ $I = \frac{E}{R} = \frac{Blv}{R}$ به‌دست می‌آید. در این رابطه B بزرگی میدان مغناطیسی و v سرعت حرکت رساناست.

۲ـ تغییر B. دو سیملولهٔ ۱ و ۲ را مطابق شکل ۲-۲ روبه‌روی هم قرار می‌دهیم. چنانچه کلید مدار ۱ را ببندیم، در سیملولهٔ ۲ میدان مغناطیسی B به‌وجود می‌آید که اندازهٔ آن برابر است با

$$B = \mu nI$$

در این رابطه، n برابر تعداد حلقه‌های سیملوله در واحد طول و برابر $n = \frac{N}{l}$ است. N تعداد کل حلقه‌ها و l طول محور سیملوله است.

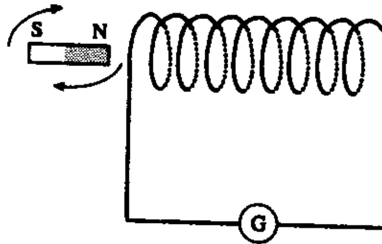
میدان مغناطیسی B شاری از سیم‌پیچ ۲ عبور می‌دهد که برابر $\varphi = NAB$ است. چنانچه کلید را مرتب باز و بسته کنیم، جریان الکتریکی و در نتیجه شار مغناطیسی که از سیم‌پیچ ۲ می‌گذرد تغییر می‌کند و از این‌رو در این سیم‌پیچ جریان الکتریکی القایی به‌وجود می‌آید.



شکل۲-۲

۳ـ تغییر θ. هرگاه در برابر سیم‌پیچی مطابق شکل ۲-۳ آهنربای NS را حول محوری عمود بر آن به دوران درآوریم، جریانی در سیم‌پیچ به‌وجود می‌آید که گالوانومتر عبور آن‌را نشان می‌دهد. علت تولید جریان در سیم‌پیچ آن است که وقتی آهنربا می‌چرخد شاری که از سیم‌پیچ می‌گذرد تغییر می‌کند. در

لحظه‌هایی که امتداد آهنربا با سطح سیم‌پیچ موازی است، زاویهٔ θ برابر ۹۰ درجه یا ۲۷۰ درجه است و شاری از سیم‌پیچ نمی‌گذرد ($\varphi = 0$). در لحظه‌هایی که زاویهٔ θ برابر صفر یا ۱۸۰ درجه باشد شاری که از سیم‌پیچ می‌گذرد حداکثر (φ_{max}) خواهد بود. بنابراین براثر دوران آهنربا θ و در نتیجه φ تغییر می‌کند و جریان القایی در مدار سیم‌پیچ به‌وجود می‌آید. می‌توان به‌جای دوران آهنربا، سیم‌پیچ را به دوران درآورد.



شکل۲-۳

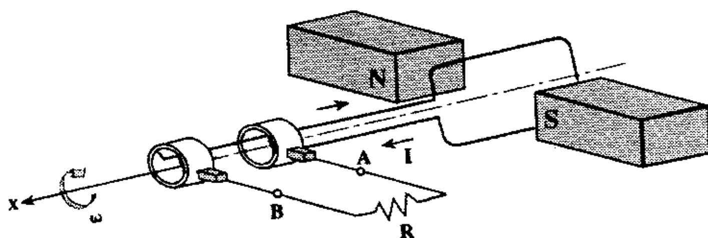
۲ـ۳ مولد سادهٔ جریان متناوب

هر دستگاه که بتواند اختلاف پتانسیل و در نتیجه جریان الکتریکی تولید کند مولد[1] نامیده می‌شود. دیناموها[2] مولدهایی هستند که بر اساس اثر القا، الکتریسیته مستقیم یا برق یک‌طرفه تولید می‌کنند. مولدهایی که جریان متناوب را تولید می‌کنند متناوب‌ساز یا آلترناتور[3] نامیده می‌شوند.

برای تولید جریان القایی، مطابق شکل ۲-۴، یک القاکننده یا القاگر و یک القاشونده لازم است. القاگر آهنربای طبیعی یا آهنربای الکتریکی است. القاشونده هم یک سیم‌پیچ است که آرمیچر نیز نامیده می‌شود. برای تولید جریان لازم است شاری که از القاشونده می‌گذرد تغییر کند. از این‌رو برای تغییر شار، القاشونده و القاگر نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. برای این‌کار ممکن است آهنربا ساکن و سیم‌پیچ دوران کند یا آنکه سیم‌پیچ ثابت باشد و آهنربا بچرخد. بخشی از دستگاه را که ساکن است ایستانه یا استاتور[4] و بخشی را که متحرک است چرخانه یا روتور[5] می‌نامند. بخشی از دستگاه که جریان الکتریکی را به بیرون هدایت می‌کند گردآور یا کلکتور[6] نام دارد. گردآور از دو حلقهٔ فلزی تشکیل شده که به سیم‌پیچ متصل است. روی هر حلقه تیغه‌ای از کربن قرار دارد که جریان الکتریسیته را به مدار خارج منتقل می‌کند.

اگر سیم‌پیچی را که میان دو قطب آهنربا می‌چرخد به دو حلقهٔ لغزنده وصل کنیم، هربار که سیم‌پیچ نیم‌دور بچرخد جهت جریان الکتریکی در مقاومت R تغییر می‌کند.

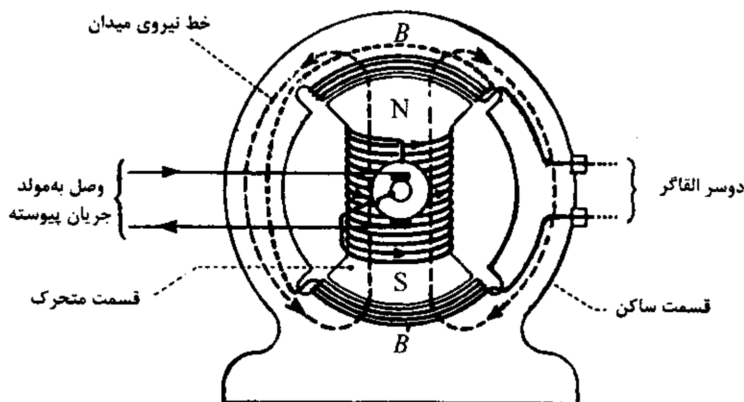
1- generator 2- dynamo 3- alternator 4- stator 5- rotor 6- collector



شکل۲-۴

۲ـ۴ آلترناتور

آلترناتور مولد الکتریکی است که بر اساس خاصیت القا جریان متناوب سینوسی تولید می‌کند. هر آلترناتور مطابق شکل ۲-۵ از یک اِلقاگر متحرک و یک القاشوندهٔ ثابت تشکیل شده است.

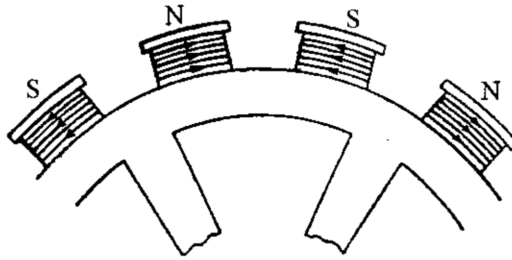


شکل۲-۵

القاگر که میدان مغناطیسی را تولید می‌کند از استوانه‌ای تشکیل شده که در محیط آن نظیر شکل ۲-۶ تعداد زوج قطبهای شمال و جنوب آهنربای الکتریکی قرار دارد. برای آهنربا کردن این زوج قطبها از جریان پیوستهٔ الکتریکی یک دینامو استفاده می‌شود. سیم‌پیچی القاکننده به طریقی است که وقتی جریان پیوسته از آن می‌گذرد قطبها متناوباً یکی قطب N و دیگری قطب S خواهد بود. برای به حرکت درآوردن القاکننده از توربین آبی، توربین بخار، توربین گازی یا موتور گرمایی استفاده می‌شود.

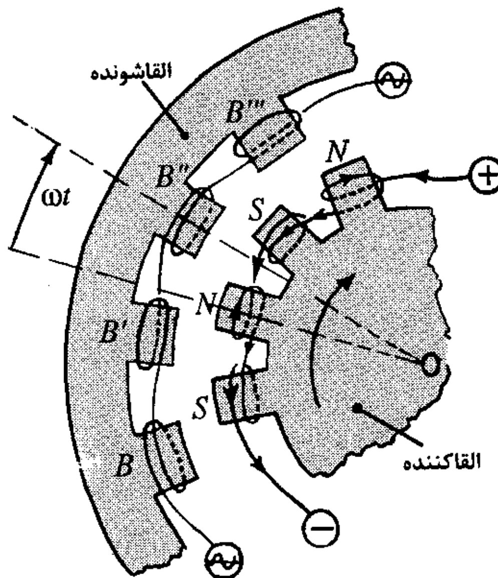
القاشونده از یک استوانهٔ توخالی تشکیل شده که محور آن همان محور القاگر و اطراف آن‌را فراگرفته است. در سطح درونی این استوانه شیارهایی موجود است که در آنها مطابق شکل ۲-۷ سیم‌پیچها قرار دارند. جهت پیچیدن سیم در سیم‌پیچهای متوالی عکس یکدیگر است و همین‌کار سبب می‌شود که نیروی محرکهٔ القایی در آنها همسو شود.

هنگامی‌که القاگر به چرخش درآید، قطب N آن به یک سیم‌پیچ و قطب S آن به سیم‌پیچ بعدی نزدیک می‌شود. با نزدیک شدن قطبها به سیم‌پیچها شار مغناطیسی که از آنها می‌گذرد تغییر می‌کند و



شکل۲-۶

در آنها نیروی محرکهٔ القایی به‌وجود می‌آید. در هر سیم‌پیچ نیروی محرکه‌ای پدید می‌آید که جهت آن عکس نیروی محرکهٔ سیم‌پیچ قبلی یا بعدی است ولی چون جهت پیچش در آنها عکس یکدیگر است سبب می‌شود که نیروی محرکهٔ تمام سیم‌پیچها برهم‌افزوده شود و کل دستگاه یک نیروی محرکهٔ متناوب قابل‌توجه تولید کند.



شکل۲-۷

۵ـ۲ نیروی محرکهٔ آلترناتور

فرض کنید سیم‌پیچ با سرعت زاویه‌ای ثابت ω میان دو قطب آهنربا بچرخد. در این‌صورت شاری که از آن می‌گذرد در هر لحظه از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$\varphi = AB \cos \omega t$$

در این رابطه A سطح حلقهٔ سیم‌پیچ و B میدان مغناطیسی یکنواخت میان دو قطب آهنرباست. ضمناً مبدأ زمان ($t = 0$) لحظه‌ای فرض شده که میدان بر سطح قاب عمود و $\omega t = 0$ است.

اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی با توجه به قانون فارادی برای یک دور سیم‌پیچ برابر $E = -\frac{d\varphi}{dt}$ است و چنانچه سیم‌پیچ شامل N دور باشد نیروی محرکه برابر خواهد بود با

$$E = -N\frac{d\varphi}{dt} = -N\frac{d}{dt}(AB\cos\omega t)$$
$$E = -N(-AB\omega\sin\omega t) = NAB\omega\sin\omega t$$

حداکثر نیروی محرکه هنگامی است که $\sin\omega t = 1$ باشد، بنابراین داریم

$$E_{\max} = NAB\omega, \qquad E = E_{\max}\sin\omega t$$

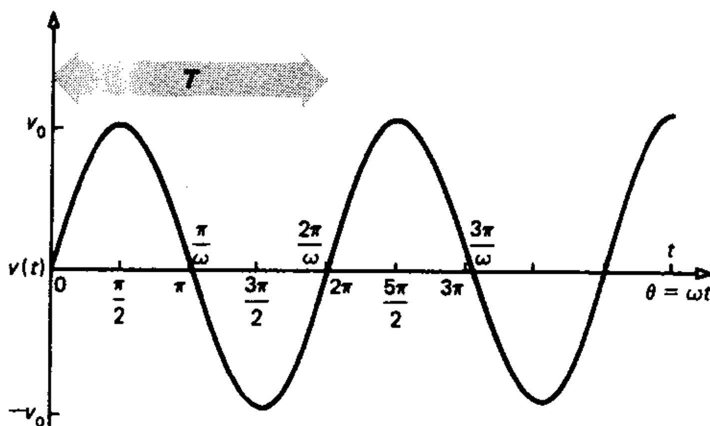
این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکهٔ آلترناتور تابع سینوسی از زمان و دارای آثار تناوبی است.

برای آنکه نیروی محرکهٔ آلترناتور نسبتاً زیاد باشد لازم است به عوامل زیر توجه شود:

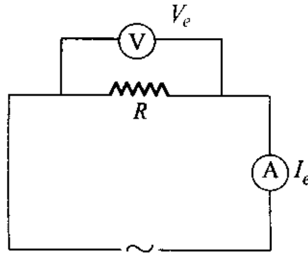
۱. میدان مغناطیسی القاگر یعنی B، تا حدی که ممکن است قویتر باشد.
۲. سطح القاشونده، A بزرگ باشد.
۳. تعداد سیم‌پیچهای القاشونده زیاد باشد.
۴. سرعت چرخش القاگر زیاد باشد.

افزایش سطح القاشونده و تعداد سیم‌پیچهای آن سبب می‌شود که آلترناتور بزرگتر شود و حجم بیشتری را اشغال کند.

چنانچه دو سر آلترناتور را به مقاومت R متصل کنیم، اختلاف پتانسیل متناوبی به معادلهٔ $V = V_{\max}\sin\omega t$ در آن برقرار می‌شود. نمودار اختلاف پتانسیل ـ زمان دو سر این مقاومت مطابق شکل ۲-۸ خواهد بود. هرگاه مداری مطابق شکل ۲-۹ از آلترناتور، مقاومت R، ولت‌سنج و آمپرسنج



شکل ۲-۸



شکل ۲-۹

حرارتی تشکیل دهیم، مشاهده می‌شود که ولت‌سنج اختلاف پتانسیل ثابتی برابر V_e را نشان می‌دهد و آمپرسنج نیز جریان ثابتی برابر I_e را نشان خواهد داد. V_e را اختلاف پتانسیل مؤثر[1] و I_e را شدت جریان مؤثر[2] می‌نامند. آزمایش نشان می‌دهد که رابطهٔ I_e و V_e به‌صورت زیر است:

$$I_e = \frac{V_e}{R} \quad \text{یا} \quad V_e = RI_e$$

می‌توان ثابت کرد که رابطهٔ V_e و $V_{\max}$ به‌صورت $V_e = V_{\max}/\sqrt{۲}$ است.

مثال ۱. پیچه‌ای مسطح به شکل قاب به ابعاد ۱۰ سانتیمتر در ۲۰ سانتیمتر که دارای ۶۰ حلقه است با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه در یک میدان مغناطیسی یکنواخت به شدت ۰٫۵ تسلا به دور محور خود که عمود بر خطوط میدان است می‌چرخد. نیروی محرکهٔ القایی بیشینه را در پیچه حساب کنید.

حل: بسامد زاویه‌ای برابر است با

$$\omega = ۲\pi\nu$$

$$= ۲ \times ۳٫۱۴ \times \frac{۱۸۰۰}{۶۰} = ۱۸۸٫۴\text{rad/s}$$

نیروی محرکهٔ بیشینه از رابطهٔ

$$E_m = NBA \cdot \omega$$

محاسبه می‌شود

$$E_m = ۶۰ \times ۰٫۵(۰٫۱ \times ۰٫۲) \times ۱۸۸٫۴$$

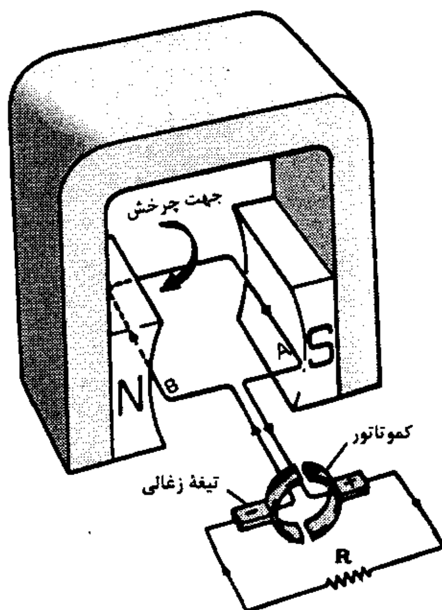
$$\simeq ۱۱۳٫۰ \text{ ولت}$$

▲

۲ـ۶ دینامو

مولد الکتریکی که بر اساس خاصیت القا جریان مستقیم تولید می‌کند دینامو[3] نامیده می‌شود و ساختمان آن مانند مولد سادهٔ جریان متناوب و شامل یک آهنربای نعلی شکل قوی است که دو قطب

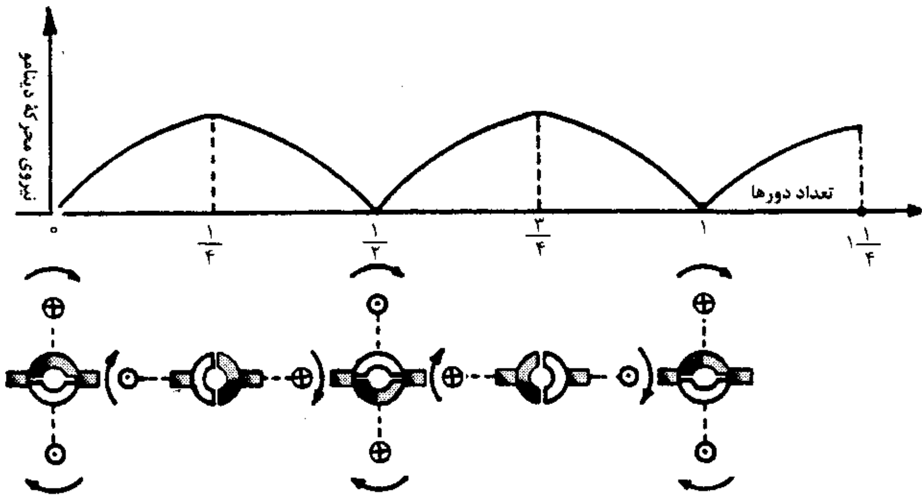
1- effective voltage 2- effective current 3- dynamo



شکل۲-۱۰

آن نیم‌استوانه‌ای است. در این دینامو به‌جای دو حلقهٔ جداگانه، دو نیم‌حلقه قرار داده شده است که روی‌هم مانند شکل ۲-۱۰ یک حلقه را تشکیل می‌دهند. این دو نیم‌حلقه به‌وسیلهٔ عایق از هم جدا شده‌اند و هرکدام از دو سر پیچه (قاب) به یکی از دو نیم‌حلقه متصل است. به این نیم‌حلقه‌ها تیغه‌های کربنی در تماس‌اند و در لحظه‌ای که پیچه از وضع قائم عبور می‌کند، تماس هر نیم‌حلقه با هر یک از دو تیغه عوض می‌شود. به همین جهت مجموع دو نیم‌حلقه را کموتاتور[1] یا برگردانندهٔ جریان می‌نامند. شکل ۲-۱۱ همراه با نمودار نیروی محرکه، موقعیت کموتاتورها را نشان می‌دهد. در مدتی که پیچه (قاب) یک دورکامل را می‌زند نیروی محرکه دوبار به بیشینه می‌رسد. در نیم‌دور اول نیروی محرکه از صفر به بیشینه و دوباره به صفر می‌رسد. در این مدت تیغهٔ زغالی که در سمت راست کموتاتور است حکم قطب مثبت دینامو را دارد و تیغهٔ سمت چپ در حکم قطب منفی است. در نیم‌دور دوم یعنی در لحظه‌ای که قاب از وضع قائم عبور می‌کند، وضع تماس دو نیم‌حلقه کموتاتور با تیغهٔ زغالی عوض می‌شود، زیرا جای دو نیم‌حلقه عوض شده است. جهت جریان در پیچه نسبت به دو نیم‌دور اول معکوس می‌شود ولی به علت عوض شدن وضعیت تماس نیم‌حلقه‌های کموتاتور با تیغه‌های زغالی، طرف راست مثبت و تیغهٔ زغالی سمت چپ منفی خواهد بود. به این ترتیب نیروی محرکه در نیم‌دور اول و نیم‌دور دوم یکسان است. چنانچه دو زغال یک دینامو‌ی سادهٔ مولد جریان یکطرفه به دو قطب یک باتری متصل شود و جریان الکتریسیته از پیچه عبور کند، عبور این جریان از پیچه که در میدان مغناطیسی قرار دارد سبب می‌شود که بر دو ضلع قاب یک جفت نیرو وارد شود و قاب بچرخد.

1- commutator



شکل۲-۱۱

- برای افزایش نیروی محرکهٔ دینامو‌ی ساده می‌توان یکی از راههای زیر را انتخاب کرد
۱. افزودن تعداد دورهای پیچه.
۲. پیچیدن پیچه روی هستهٔ آهنی تا شار مغناطیسی که از پیچه می‌گذرد افزایش یابد.
۳. پیچه با سرعت بیشتری بچرخد.
۴. آهنربا را تا حد ممکن قویتر انتخاب کرد.

همهٔ عوامل بالا سبب می‌شود که تعداد خطوط میدان بیشتری در یکای زمان قطع و بر مقدار نیروی محرکه افزوده شود.

نمودار شکل ۲-۱۱ نشان می‌دهد که در هر نیم‌دور نیروی محرکه به صفر می‌رسد. برای آنکه این عیب برطرف شود به‌جای یک پیچه می‌توان چندین پیچه را درون شیارهای استوانه‌ای از آهن خالص که آن‌را آرمیچر می‌نامند قرار داد. کموتاتور را هم به‌جای دو نیم‌حلقه به قطعه‌های مسی که به‌وسیلهٔ عایق از هم جدا شده‌اند تقسیم می‌کنند به‌طوری‌که دو سر هر پیچه به یک جفت قطعهٔ مسی مربوط به خودش متصل باشد. به این ترتیب نیروی محرکه ثابت خواهد بود. جریانی که این دینامو ایجاد می‌کند مانند جریانی است که یک باتری به مدار می‌فرستد به همین دلیل آن‌را جریان مستقیم یا جریان پیوسته می‌گویند. در بعضی دینامو‌ها به‌جای آهنربای دائمی از آهنربای الکتریکی استفاده می‌شود و جریان لازم برای تشدید میدان مغناطیسی حاصل از این آهنربا توسط خود دینامو تأمین می‌شود.

۲ـ۷ ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یا مبدل دستگاهی است که با آن می‌توان اختلاف پتانسیل جریان متناوب را افزایش یا کاهش داد. ترانسفورماتوری که اختلاف پتانسیل را افزایش می‌دهد مبدل افزاینده[۱] و ترانسفورماتوری

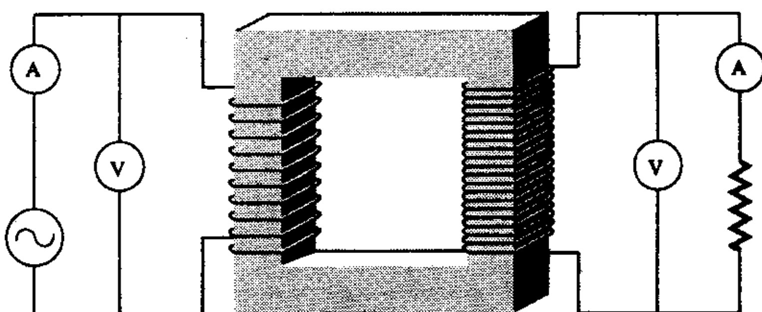
1- step-up transformer

که اختلاف پتانسیل را کاهش می‌دهد مبدل کاهنده[1] نامیده می‌شود. ترانسفورماتور افزاینده را معمولاً برای انتقال انرژی الکتریکی به فاصله‌های دور به‌کار می‌برند. ترانسفورماتور کاهنده معمولاً در کنار دستگاههای مصرف قرار می‌گیرد.

ساختمان ترانسفورماتور. ساده‌ترین شکل ترانسفورماتور مطابق شکل ۲-۱۲ است. این دستگاه از یک هستهٔ آهنی و دو سیم‌پیچ تشکیل شده است. سیم‌پیچی را که به منبع جریان متصل است سیم‌پیچ اولیه[2] می‌نامند و آن‌را با نماد P نشان می‌دهند. سیم‌پیچی را که در طرف دیگر قرار دارد سیم‌پیچ ثانویه[3] می‌نامند و آن‌را با نماد S نشان می‌دهند. دو سیم‌پیچ را می‌توان روی دو بازوی هستهٔ آهنی، یا فقط روی یکی از آن دو قرار داد.

معمولاً هستهٔ آهنی را از ورقه‌های نازکی که بین آنها عایق قرار دارد می‌سازند تا مانع از تولید گرما و اتلاف انرژی شود.

طرز کار ترانسفورماتور. هنگامی‌که چشمهٔ جریان متناوبی به اولیه وصل شود، در هستهٔ مبدل تغییر شار مغناطیسی به‌وجود می‌آید. هستهٔ آهنی باعث تمرکز و نگهداری شار می‌شود.



شکل۲-۱۲

نیروی محرکهٔ القایی در سیم‌پیچ اولیه بر اثر تغییر شار طبق قانون فارادی عبارت است از

$$E_p = -n_p \left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right)$$

که در آن n_p تعداد دورهای اولیه است. به همین ترتیب، با فرض اینکه همین شار از ثانویه نیز بگذرد، نیروی محرکهٔ القایی که در سیم‌پیچ ثانویه به‌وجود می‌آید عبارت است از

$$E_s = -n_s \left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right)$$

1- step-down transformer 2- primary 3- secondary

که در آن n_s تعداد دورهای ثانویه است. با تقسیم این دو رابطه داریم

$$\frac{E_۱}{E_۲} = \frac{n_۲}{n_۱} \qquad \text{یا} \qquad \frac{E_p}{E_s} = \frac{n_s}{n_p}$$

بنابراین با تغییر تعداد دورهای ثانویه نسبت به اولیه می‌توان مبدل افزاینده یا کاهنده به‌دست آورد.

نسبت $n_۲/n_۱$ را با n نشان می‌دهند و آن‌را ضریب تبدیل ترانسفورماتور می‌نامند. اگر $n > ۱$ باشد مبدل افزاینده و اگر $n < ۱$ باشد مبدِّل کاهنده است. چنانچه در ترانسفورماتور انرژی تلف نشود توان اولیه با توان ثانویه برابر است و در این‌صورت می‌توان نوشت

$$P_۱ = P_۲$$

$$V_۱ I_۱ = V_۲ I_۲ \Rightarrow \frac{V_۲}{V_۱} = \frac{I_۱}{I_۲}$$

به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود اگر ترانسفورماتور ولتاژ را افزایش دهد جریان کاهش می‌یابد و برعکس اگر ولتاژ را کاهش دهد جریان افزایش می‌یابد.

مثال ۲. در یک ترانسفورماتور، اولیه از ۵۰۰ دور و ثانویه از ۲۰۰۰ دور سیم تشکیل شده است. به دو طرف اولیه اختلاف پتانسیل متناوب ۱۲۰V را متصل می‌کنیم. اگر جریانی که از آن می‌گذرد ۱۵۰ میلی‌آمپر باشد، مطلوب است: الف) اختلاف پتانسیل دو طرف ثانویه، ب) جریانی که از آن می‌گذرد.

حل: الف) نسبت اختلاف پتانسیل دو سر اولیه و ثانویه به نسبت تعداد دور آنهاست، یعنی

$$\frac{V_۲}{V_۱} = \frac{n_۲}{n_۱}$$

$$\frac{V_۲}{۱۲۰\,\mathrm{V}} = \frac{۳۰۰۰}{۵۰۰} \Rightarrow V_۲ = ۷۲۰\,\mathrm{V}$$

ب) نسبت جریانهای اولیه و ثانویه به نسبت عکس تعداد دور آنهاست یعنی

$$\frac{I_۲}{I_۱} = \frac{n_۱}{n_۲}$$

$$\frac{۱۵۰\,\mathrm{mA}}{I_۲} = \frac{۳۰۰۰}{۵۰۰} \Rightarrow I_۲ = ۲۵\,\mathrm{mA}$$

▲

بازده یا راندمان ترانسفورماتور. شار مغناطیسی متغیری که از هستهٔ آهنی می‌گذرد در آن جریانی به‌وجود می‌آورد. این جریان هستهٔ آهنی را گرم می‌کند و در نتیجه مقداری از انرژی الکتریکی تلف می‌شود، در این‌صورت توان خروجی کمتر از توان ورودی مبدل است. نسبت توان خروجی به ورودی را راندمان یا بازده[1] مبدل می‌نامند و با نماد R_a نشان می‌دهند

$$R_a = \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{V_۲ I_۲}{V_۱ I_۱} = \frac{n_۲}{n_۱} \times \frac{I_۲}{I_۱}$$

1- efficiency

مثال ۳. مدار اولیهٔ ترانسفورماتوری با برق ۲۲۰ ولت شهر تغذیه می‌شود. یک وسیلهٔ الکتریکی با توان ۱/۱ کیلووات و پتانسیل ۱۱۰ ولت در مدار ثانویه قرار دارد. اگر بازده ترانسفورماتور ۸۰ درصد باشد، شدت جریان در مدار اولیه چقدر است؟

حل: بازده ترانسفورماتور برابر است با

$$R_a = \frac{P_۲}{P_۱} \Rightarrow \frac{۸۰}{۱۰۰} = \frac{۱۱۰۰}{P_۱} \Rightarrow P_۱ = ۱۳۷۵ \text{ وات}$$

اندازهٔ شدت جریان برابر است با

$$P_۱ = V_۱ I_۱ \Rightarrow I_۱ = \frac{۱۳۷۵}{۲۲۰} = ۶/۲۵\text{A}$$

▲

مثال ۴. تعداد حلقه‌های مدار اولیهٔ ترانسفورماتوری ۱۰۰۰ دور و مدار ثانویهٔ آن ۱۰۰ دور است. در مدار ثانویهٔ این ترانسفورماتور یک لامپ ۱۰۰ وات قرار می‌دهیم. در صورتی‌که شدت جریان در مدار ثانویه ۲A و بازده آن ۸۰ درصد باشد، شدت جریان و ولتاژ دو سر مدار اولیه را حساب کنید.

حل: با استفاده از رابطهٔ بازده، شدت جریان مدار اولیه برابر است با

$$R_a = \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{n_۲ I_۲}{n_۱ I_۱} \Rightarrow \frac{۸۰}{۱۰۰} = \frac{۱۰۰}{۱۰۰۰} \times \frac{۲}{I_۱} \Rightarrow I_۱ = ۰/۲۵\text{A}$$

ولتاژ مدار اولیه برابر است با

$$R_a = \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{P_۲}{V_۱ I_۱}$$

$$\frac{۸۰}{۱۰۰} = \frac{۱۰۰}{V_۱ \times ۰/۲۵} \Rightarrow V_۱ = ۵۰۰ \text{ ولت}$$

▲

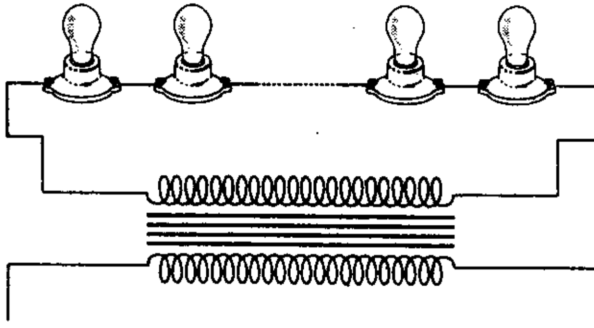
هرگاه ترانسفورماتور آرمانی باشد و به‌عبارت دیگر هیچ انرژی در آن تلف نشود، بازده ترانسفورماتور صددرصد خواهد بود. یعنی

$$R_a = ۱ \Rightarrow \frac{V_۲ I_۲}{V_۱ I_۱} = ۱, \qquad \frac{V_۲}{V_۱} = \frac{I_۱}{I_۲}$$

و چون $\frac{V_۲}{V_۱} = \frac{n_۲}{n_۱}$ است پس $\frac{n_۲}{n_۱} = \frac{I_۱}{I_۲}$ خواهد بود.

چون بازده ترانسفورماتورها هیچ‌گاه صددرصد نیست روابط ذکرشده هم کاملاً برقرار نخواهند بود.

در مدار ثانویهٔ ترانسفورماتور می‌توان مصرف‌کننده‌ها را به‌طور متوالی یا موازی قرار داد. هرگاه n لامپ مشابه را مطابق شکل ۲-۱۳ به‌طور متوالی در مدار ثانویه قرار دهیم روابط صفحهٔ بعد میان کمیتهای الکتریکی مربوطه برقرار است



شکل۲-۱۳

۱. اختلاف پتانسیل دو سر ثانویه برابر مجموع اختلاف پتانسیل دو سر لامپهاست

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots = V_1 + V_1 + V_1 + \cdots = nV_1$$

۲. شدت جریانی که از همهٔ لامپها می‌گذرد مساوی و برابر شدت جریانی است که از ثانویه می‌گذرد

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = \cdots$$

۳. مقاومت کل مصرف‌کننده‌ها برابر مقاومت مجموع لامپهاست

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots = nR_1$$

۴. توان کل مصرفی مدار برابر مجموع توان لامپهاست

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots = nP_1$$

مثال ۵. پنج لامپ مشابه ۱۸ وات و ۱۲ ولت را به‌طور متوالی به‌هم می‌بندیم و مجموعه را در مدار ثانویهٔ ترانسفورماتوری که بازده آن ۷۵ درصد است قرار می‌دهیم. اگر تعداد دور سیم‌پیچ اولیه چهار برابر تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه باشد

الف) شدت جریان در مدار اولیه را حساب کنید.

ب) ولتاژ مدار اولیه چند ولت است؟

حل: الف) اگر P_L و V_L به‌ترتیب توان و اختلاف پتانسیل دو سر یک لامپ باشند، توان ثانویه برابر است با

$$P_2 = nP_L = 5 \times 18 = 90 \text{ وات}$$

ولتاژ ثانویه برابر است با

$$V_2 = nV_L = 5 \times 12 = 60 \text{ ولت}$$

شدت جریان‌در مدار ثانویه عبارت است از

$$P_2 = V_2 I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{90}{60} = 1{,}5\text{A}$$

با استفاده از فرمول بازده، شدت جریان در مدار اولیه را به‌دست می‌آوریم

$$R_a = \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{V_۲ I_۲}{V_۱ I_۱} = \frac{n_۲}{n_۱} \cdot \frac{I_۲}{I_۱}$$

$$\frac{۷۵}{۱۰۰} = \frac{۱}{۴} \times \frac{۱/۵}{I_۱} \Rightarrow I_۱ = ۰/۵\mathrm{A}$$

ب) ولتاژ مدار اولیه برابر است با

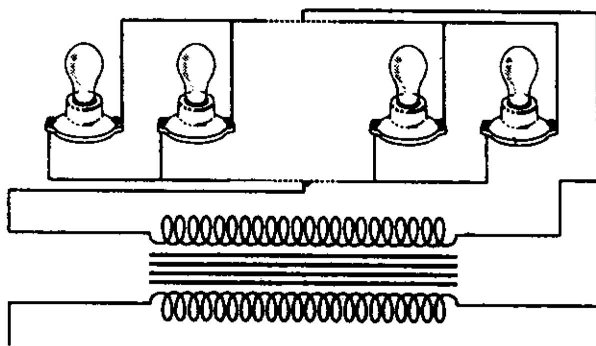
$$\frac{V_۲}{V_۱} = \frac{n_۲}{n_۱} \Rightarrow \frac{۶۰}{V_۱} = \frac{۱}{۴}$$

$$V_۱ = ۲۴۰ \text{ ولت}$$

▲

هرگاه n لامپ مشابه را نظیر شکل ۲-۱۴ به‌طور موازی در مدار ثانویه قرار دهیم می‌توان نوشت

$$R_۲ = \frac{R_L}{n}, \qquad P_۲ = nP_L, \qquad I_۲ = nI_L, \qquad V_۲ = V_L$$



شکل۲-۱۴

انرژی مصرف شده در مدار ثانویه از رابطهٔ $W = P_۲ t$ محاسبه می‌شود. اگر $P_۲$ برحسب کیلووات (kW) و زمان برحسب ساعت (h) باشد، انرژی مصرف‌شده برحسب کیلووات ساعت (kWh) خواهد بود. چنانچه توان برحسب وات (W) و زمان برحسب ثانیه (s) باشد، انرژی برحسب ژول (J) خواهد بود.

مثال ۶. تعداد حلقه‌های اولیهٔ ترانسفورماتوری ۲۰۰ دور است و در ثانویه از ۱۰ لامپ ۱۸ وات و ۲۴ ولت که به‌طور موازی به‌هم بسته شده‌اند استفاده می‌شود. اگر ولتاژ دو سر مدار اولیه ۲۴۰ ولت باشد،

الف) تعداد دورهای مدار ثانویهٔ ترانسفورماتور را حساب کنید.

ب) اگر شدت جریان در مدار اولیه یک آمپر باشد، بازده ترانسفورماتور چقدر است؟

حل: الف) توان و ولتاژ مدار ثانویه که لامپها در آن به‌طور موازی‌اند برابر است با

$$P_2 = nP_L = 10 \times 18 = 180 \text{ وات}$$

$$V_2 = V_L = 24 \text{ ولت}$$

تعداد دورهای مدار ثانویه برابر است با

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{24}{240} = \frac{n_2}{200} \Rightarrow n_2 = 20 \text{ دور}$$

ب) بازده ترانسفورماتور برابر است با

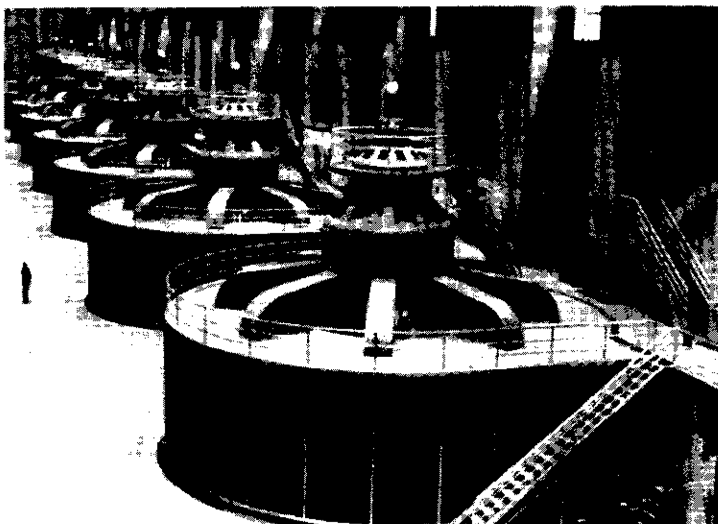
$$R_a = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{V_1 I_1} \Rightarrow R_a = \frac{180}{240 \times 1}$$

$$= \%75$$



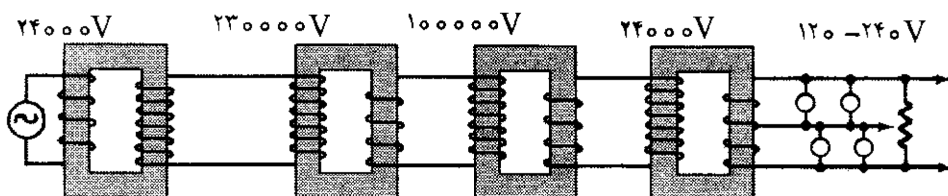
۲ـ۸ انتقال انرژی الکتریکی به‌وسیلهٔ جریان متناوب

برای ایجاد جریان برق در نیروگاهها و انتقال آن به محل مصرف از تأسیساتی استفاده می‌شود که مولدهای آن ولتاژ متناوبی حدود ۱۰,۰۰۰ تا ۳۰,۰۰۰ ولت ایجاد می‌کنند، شکل ۲-۱۵، و سپس به‌وسیلهٔ ترانسفورماتور افزاینده‌ای ولتاژ را به ۳۰۰,۰۰۰ تا ۴۰۰,۰۰۰ ولت تبدیل می‌کنند. آنگاه به‌وسیلهٔ کابلهای فشار قوی و با کمک این ولتاژ انرژی موردنظر را به محل مصرف انتقال می‌دهند. این ولتاژ



شکل ۲-۱۵

بسیار زیاد را در چند مرحله مطابق شکل ۲-۱۶ در پستهای نزدیک شهر پایین می‌آورند تا به ۲۲۰ ولت برای مصرف وسایل برقی در خانه برسد. به همین جهت در بیشتر مراکز تولید جریان برق، جریان متناوب تولید می‌کنند و این مزیت جریان متناوب را به جریان مستقیم نشان می‌دهد، زیرا به‌آسانی و به‌ارزانی می‌توانیم بدون آنکه انرژی قابل ملاحظه‌ای از دست برود آن‌را به فواصل دور انتقال دهیم. توان تلف شده از رابطهٔ $p = rI^{2}$ به‌دست می‌آید که r مقاومت کابل انتقال انرژی و I جریانی است که از این کابل عبور می‌کند و برابر است با $I = \frac{P}{V}$، به‌این ترتیب $p = r\left(\frac{P^{2}}{V^{2}}\right)$. این رابطه نشان می‌دهد که هرچه V ولتاژ انتقال جریان برق بیشتر باشد توان تلف شده کمتر خواهد بود.



شکل۲-۱۶

مثال ۷. برای انتقال توان ۲۰ کیلووات از یک کابل فشار قوی که مقاومت آن ۰٫۵ اهم است استفاده می‌شود. اتلاف انرژی را در دو حالت زیر بررسی کنید.

الف) اگر اختلاف پتانسیل ۲۰۰ ولت باشد.

ب) اگر اختلاف پتانسیل ۲۰۰,۰۰۰ ولت باشد.

حل: الف) توان تلف‌شده عبارت است از

$$p = r\left(\frac{P}{V}\right)^{2} = ۰٫۵\left(\frac{۲۰,۰۰۰}{۲۰۰}\right)^{2} = ۵۰۰۰ \text{ وات}$$

$$\frac{۵۰۰۰}{۲۰,۰۰۰} = ۰٫۲۵$$

و به این‌ترتیب ۲۵ درصد توان به هدر می‌رود.

ب) $p = r\left(\frac{P}{V}\right)^{2} = ۰٫۵\left(\frac{۲۰,۰۰۰}{۲۰۰,۰۰۰}\right)^{2} = ۰٫۰۰۵\ \text{W}$

$$\frac{۰٫۰۰۵}{۲۰,۰۰۰} = ۰٫۲۵ \times ۱۰^{-۶}$$

و از این‌رو توان تلف‌شده بسیاربسیار ناچیز است.

▲

خلاصهٔ فصل

در مولد سادهٔ جریان متناوب سیم‌پیچی به‌صورت قاب مستطیل شکل در میدان مغناطیسی یکنواخت می‌چرخد و با چرخش سیم‌پیچ در میدان مغناطیسی جریان القایی ایجاد می‌شود. جریان القایی حاصل از نیروی محرکهٔ القایی به‌وجود می‌آید که نمودار تغییرات آن برحسب زمان سینوسی است. برای ایجاد نیروی محرکهٔ قویتر از آلترناتور استفاده می‌کنند که در آن القاکننده متحرک و از سیم‌پیچی درست شده است که چندین جفت قطبهای N و S دارد. القاشونده نیز ساکن است و از چندین جفت سیم‌پیچ تشکیل شده است که به‌طور متوالی به‌هم متصل‌اند و در بدنهٔ آلترناتور که از آهن خالص است قرار دارد.

برای افزایش نیروی محرکهٔ دینامو‌ی ساده می‌توان به تعداد دورهای سیم‌پیچ افزود یا سیم‌پیچ را با سرعت بیشتری چرخاند. همچنین می‌توان سیم‌پیچ را روی هستهٔ آهنی پیچاند. در ترانسفورماتورها با ایجاد تغییر شار جریان القایی به‌وجود می‌آید. به عبارت دیگر هرگاه دو سیم‌پیچ مجاورهم قرار گیرند، با تغییر شدت جریان در یکی از این دو سیم‌پیچ ایجاد جریان القایی در دیگری می‌شود. در ترانسفورماتور افزاینده ضریب تبدیل یعنی نسبت تعداد حلقه‌های ثانویه به تعداد حلقه‌های اولیه بزرگتر از یک است.

در انتقال انرژی به‌وسیلهٔ جریان متناوب از مولدهایی که ولتاژ آنها حدود ۴۰,۰۰۰ ولت است استفاده می‌کنند و به‌وسیلهٔ ترانسفورماتور افزاینده ولتاژ را به ۴۰۰,۰۰۰ ولت می‌رسانند و سپس به‌وسیلهٔ کابلهای فشار قوی انرژی موردنظر را به محل مصرف منتقل می‌کنند.

هدفهای آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- مولد سادهٔ جریان متناوب را با رسم شکل شرح دهید.
- تفاوتهای آلترناتور و مولد سادهٔ جریان متناوب را از یکدیگر تمیز دهید.
- ساختمان مولد جریان برق یک‌طرفه را شرح دهید و طرز کار این مولد را بیان کنید.
- روشهای مختلف افزایش نیروی محرکهٔ یک دینامو‌ی ساده را توضیح دهید.
- اساس کار ترانسفورماتور و تفاوتهای ترانسفورماتور افزاینده و کاهنده را بیان کنید.
- چگونگی انتقال انرژی الکتریکی را به‌وسیلهٔ جریان متناوب شرح دهید.
- رابطه‌های $\frac{V_2}{V_1}=\frac{n_2}{n_1}$، $R_a=\frac{P_2}{P_1}$، $R_a=n\frac{I_2}{I_1}$ و $P=VI$ را در حل مسائل به‌کار برید.

خود را بیازمایید

پرسشها

۱. چگونه می‌توان یک دینامیوی سادهٔ جریان متناوب را به مولد جریان یک‌طرفه تبدیل کرد. اگر بخواهیم از دینامو جریان تقریباً پیوسته بگیریم چگونه باید عمل کرد؟
۲. چگونه می‌توان نیروی محرکهٔ یک دینامیوی ساده را افزایش داد؟
۳. معایب دینامیوی ساده را بنویسید و راه رفع آن‌را شرح دهید.
۴. برتری جریان متناوب به جریان پیوسته در انتقال انرژی الکتریکی را بنویسید.
۵. یکی از کاربردهای القای الکترومغناطیسی را به اختصار شرح دهید و آن‌را با رسم شکل مجسم کنید.
۶. نموداری رسم کنید که تغییرات اختلاف پتانسیل جریان متناوب را برحسب زمان نشان دهد.
۷. تشابه و تفاوت جریان مستقیم و جریان متناوب را هنگام عبور از هر یک از وسایل زیر شرح دهید
الف) اثر آهنربایی و هنگام عبور از سیملوله.
ب) اثر گرمایی و هنگام عبور از سیم با مقاومت الکتریکی.
پ) اثر القایی و هنگام عبور از مدار اولیهٔ ترانسفورماتور.
۸. چرا با آنکه اصطکاک کم است، سیم‌پیچ یک دینامو به‌آسانی درون آهنربا نمی‌چرخد؟
۹. ترانسفورماتوری را طرح‌ریزی کنید که از ثانویهٔ آن بتوان چند ولتاژ مختلف گرفت.
۱۰. چرا از ترانسفورماتور نمی‌توان در جریان پیوسته استفاده کرد؟
۱۱. آلترناتورها چه نوع جریان متناوبی را ایجاد می‌کنند و تفاوت آنها با یک دینامیوی سادهٔ جریان متناوب در چیست؟
۱۲. چرا در آلترناتورها سیم‌پیچ (القاگر) را ثابت می‌گیرند و القاکن را در مقابل آن می‌چرخانند.

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. شدت جریان و ولتاژ سیم‌پیچ اولیهٔ یک ترانسفورماتور به‌ترتیب 5A و ۲۰ ولت است. اگر بازده این ترانسفورماتور ۸۰٪ باشد، توان خروجی آن چند وات است؟
الف) ۸　　ب) ۱۰　　پ) ۸۰　　ت) ۱۰۰
۲. در مورد یک ترانسفورماتور افزاینده که خوب کار می‌کند، کدامیک از مطالب زیر درست است؟
الف) انرژی الکتریکی که به مدار اولیهٔ ترانسفورماتور می‌رسد تقویت می‌شود.
ب) شدت جریان در مدار ثانویه نسبت به شدت جریان در مدار اولیه تقویت می‌شود.
پ) در مدار ثانویه توان الکتریکی بیشتری به‌دست می‌آید.
ت) توان الکتریکی در مدارهای اولیه و ثانویه تقریباً برابرند.

۳. در یک ترانسفورماتور، مدار اولیه دارای مشخصات 5A و 120V است. اگر بازده ۶۰٪ باشد، حداکثر چند لامپ ۴۰ واتی را می‌توان با این ترانسفورماتور روشن کرد؟

الف) ۳ ب) ۵ پ) ۹ ت) ۱۳

۴. در یک ترانسفورماتور کاهنده، در مدار ثانویه نسبت به اولیه

الف) اختلاف پتانسیل زیاد و شدت جریان کم می‌شود.

ب) اختلاف پتانسیل و شدت جریان هر دو زیاد می‌شود.

پ) اختلاف پتانسیل کم و توان زیادتر می‌شود.

ت) اختلاف پتانسیل کم و شدت جریان زیاد می‌شود.

۵. انتقال توان الکتریکی با ولتاژ ... و جریان ... از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه است.

الف) زیاد ـ زیاد ب) زیاد ـ کم پ) کم ـ زیاد ت) کم ـ کم

۶. لامپی با مشخصات ۴۰ وات و ۲۰ ولت به مدار ثانویهٔ ترانسفورماتوری با بازده ۸۰٪ متصل است. هرگاه تعداد حلقه‌های ثانویه $\frac{1}{2}$ تعداد حلقه‌های مدار اولیه باشد، شدت جریان در مدار اولیه چند آمپر است؟

الف) ۱٫۲۵ ب) ۲٫۵ پ) ۰٫۶۲۵ ت) ۵

۷. ولتاژ دو سر اولیهٔ ترانسفورماتوری ۲۰۰ ولت و جریان آن ۱ آمپر است. اگر ولتاژ دو سر ثانویه ۱۰ ولت و بازده آن ۸۰ درصد باشد، شدت جریان ثانویه چند آمپر است؟

الف) ۱٫۶ ب) ۲ پ) ۲۰ ت) ۱۶

۸. در بیشتر مراکز تولید برق ترجیح داده می‌شود به‌جای جریان پیوسته، جریان متناوب تولید شود زیرا

الف) با شدت جریان یکسان، افت انرژی موقع انتقال به محل مصرف کمتر می‌شود.

ب) با تغییراتی که در هر دورهٔ تناوب در ولتاژ ایجاد می‌شود اتلاف انرژی ناچیز است.

پ) به کمک ترانسفورماتور افزاینده می‌توان ولتاژ آن‌را زیاد و اتلاف انرژی را کم کرد.

ت) به کمک ترانسفورماتور افزاینده می‌توان انرژی آن‌را زیادتر کرد.

۹. توان الکتریکی در ثانویهٔ ترانسفورماتوری 160W و بازده آن ۸۰ درصد است. اگر جریان اولیه یک آمپر باشد، ولتاژ مدار اولیه چند ولت است؟

الف) ۴۰۰ ب) ۳۲۰ پ) ۱۶۰ ت) ۲۰۰

۱۰. سیمی به‌طول ۲۵۱٫۲ متر را دور استوانه‌ای از مقوا که شعاع قاعدهٔ آن 10cm است می‌پیچیم و جریانی به شدت ۵ آمپر از آن عبور می‌دهیم. اگر طول سیم‌پیچ ۰٫۳۱۴ متر باشد، القای مغناطیسی درون استوانه چند گاوس است؟

الف) ۰٫۰۸ ب) ۰٫۸ پ) ۸ ت) ۸۰

۱۱. سطح حلقه‌های پیچه‌ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد و اندازهٔ شار مغناطیسی که از یک حلقه آن می‌گذرد $۱/۲ \times ۱۰^{-۵}$ وبر است. در مدت ۰/۰۵ ثانیه جهت القای مغناطیسی ۱۸۰ درجه تغییر می‌کند. اگر پیچه دارای ۱۰۰ حلقه باشد، اندازهٔ نیروی محرکهٔ القاشده در دو سر آن چند ولت است؟

الف) صفر　　ب) $۴/۸ \times ۱۰^{-۴}$　　پ) $۴/۸ \times ۱۰^{-۲}$　　ت) ۴/۸

۱۲. میله‌ای به‌طول ۰/۵ متر با سرعت ۵۰ متر بر ثانیه در میدان مغناطیسی یکنواختی به شدت ۰/۰۲ تسلا جابه‌جا می‌شود. اگر زاویهٔ بین امتداد سرعت و امتداد میدان مغناطیسی ۳۰ درجه باشد، نیروی محرکهٔ القاشده چند ولت است؟

الف) ۰/۲۵　　ب) ۲/۵　　پ) ۰/۵　　ت) ۵

۱۳. قاب ترانسفورماتور را از ورقه‌های عایق‌پوش‌شده می‌سازند تا . . . .

الف) از ایجاد جریان در خود قاب جلوگیری شود.

ب) از جاذبهٔ مغناطیسی خارج جلوگیری شود.

پ) سیم‌پیچ به قاب اتصال نکند.

ت) شار مغناطیسی تغییر نکند.

۱۴. اختلاف پتانسیل دو سر اولیه و ثانویهٔ ترانسفورماتوری به‌ترتیب ۲۴۰ ولت و ۲۴ ولت و شدت جریان در مدار اولیه ۰/۵ آمپر است. اگر بازده مولد ۸۰٪ باشد، شدت جریان در ثانویه چند آمپر است؟

الف) ۲　　ب) ۴　　پ) ۸　　ت) ۱

۱۵. اختلاف پتانسیل دو سر مدار اولیهٔ ترانسفورماتوری ۱۰ ولت و جریانی که از آن می‌گذرد ۶ آمپر است. اگر بازده این ترانسفورماتور ۹۰٪ باشد، در مدار ثانویهٔ آن چند لامپ مشابه ۹ واتی به‌صورت موازی روشن شده‌اند؟

الف) ۲　　ب) ۳　　پ) ۴　　ت) ۶

۱۶. توان مولدی ۲۰ کیلووات است. اگر به کمک خطوط فشار قوی و به مقاومت ۱۰ اهم و با اختلاف پتانسیل ۲۰۰۰ ولت انرژی را منتقل کنیم، توان قابل استفاده در مقصد چند کیلووات است؟

الف) ۱۶　　ب) ۱۷　　پ) ۱۹　　ت) ۱۸

۱۷. در ترانسفورماتوری شدت جریان مؤثر در مدارهای ورودی و خروجی به‌ترتیب ۱۰ و ۲ آمپر است. اگر ولتاژ دو سر مدار ثانویه ۱۰۰۰ ولت و بازده ترانسفورماتور صددرصد باشد، اختلاف پتانسیل دو سر مدار اولیه چند ولت است؟

الف) ۴۰۰　　ب) ۲۰۰　　پ) ۵۰۰۰　　ت) ۵۰۰

۱۸. کار ترانسفورماتور چیست؟

الف) تغییر ولتاژ جریان متناوب.　　ب) افزایش انرژی الکتریکی جهت انتقال.

پ) افزایش شدت جریان پیوسته.　　ت) یک‌طرفه کردن جریان متناوب.

۱۹. تعداد دورهای سیم‌پیچهای اولیه و ثانویهٔ یک ترانسفورماتور به‌ترتیب ۲۰۰ و ۴۰۰۰ دور است. اگر دو سر مدار اولیه را به برق ۲۲۰ ولت ببندیم، اختلاف پتانسیل دو سر مدار ثانویه چند ولت است؟

الف) ۴۴۰۰ ب) ۲۲۰۰ پ) ۱۱۰۰۰ ت) ۸۸۰۰

۲۰. دو لامپ که توان هر کدام ۲۰ وات است به‌طور موازی به مدار ثانویهٔ ترانسفورماتوری که بازده آن ۸۰ درصد است اتصال دارد. توان ورودی این ترانسفورماتور چند وات است؟

الف) ۵۰ ب) ۱۶ پ) ۳۲ ت) ۲۵

تمرینها

۱. مدار اولیهٔ ترانسفورماتوری با اختلاف پتانسیل مؤثر ۲۵۰۰ ولت به آلترناتوری با توان الکتریکی ۱۰۰kW وصل است و جریان حاصل از مدار ثانویه به‌وسیلهٔ سیمهای رابط به مقاومت ۲Ω به محل مصرف منتقل می‌شود، (از اتلاف انرژی به‌وسیلهٔ ترانسفورماتور صرفنظر کنید). اگر توان تلف‌شده به‌وسیلهٔ سیمهای رابط ۰٫۲ توان الکتریکی آلترناتور باشد، ضریب تبدیل ترانسفورماتور را حساب کنید.

پاسخ: $n = \frac{۴}{۵}$

۲. ترانسفورماتور کاهنده‌ای که ضریب تبدیل آن $n = ۱۰$ است به اختلاف پتانسیل $V_۱ = ۱۲۰$ ولت وصل شده است. مقاومت سیم‌پیچ ثانویه $R_۲ = ۱۲\Omega$ و شدت جریان در مدار ثانویه $I_۲ = ۰٫۵A$ است. اختلاف پتانسیل ثانویهٔ ترانسفورماتور را حساب کنید (اتلاف انرژی در مدار اولیه ناچیز است).

پاسخ: $V_۲ = ۶$ ولت

۳. ولتاژ مدار اولیهٔ ترانسفورماتوری ۲۴۰ ولت است. هنگامی‌که در مدار ثانویهٔ آن ۱۰ لامپ ۵۵ وات و ۱۱۰ ولت به‌طور موازی بسته شود، شدت جریانی که از مدار اولیه می‌گذرد ۲٫۵ آمپر است.

الف) بازده ترانسفورماتور را حساب کنید.

ب) شدت جریانی که از هر لامپ می‌گذرد چند آمپر است؟

پ) مقاومت هر لامپ را پیدا کنید.

پاسخ: الف) $R_a = \frac{۱۱}{۱۲}$ ب) $I = \frac{۱}{۲}$ پ) $R = ۲۲۰\Omega$

۴. تعداد حلقه‌های اولیه و ثانویهٔ ترانسفورماتوری ۲۰۰ و ۵۰۰ است. اختلاف پتانسیل دو سر اولیه ۱۰۰ ولت است و در ثانویه از یک لامپ ۱۰۰ وات استفاده می‌شود. اگر بازده ترانسفورماتور ۸۰ درصد باشد

الف) اختلاف پتانسیل ثانویه را حساب کنید.

ب) شدت جریان در مدار اولیه را به‌دست آورید.

پاسخ: الف) $V_۲ = ۲۵۰V$ ب) $I_۱ = ۱٫۲۵A$

۵. اختلاف پتانسیل دو سر مدار اولیه و ثانویهٔ ترانسفورماتوری به‌ترتیب ۱۰،۰۰۰ ولت و ۲۰۰ ولت است. اگر شدت جریان در مدار اولیه ۰٫۰۵ آمپر و بازده ترانسفورماتور ٪۸۰ باشد
الف) چه تعداد لامپ با مشخصات ۱۰۰ وات و ۲۰۰ ولت می‌توانند به‌طور موازی در مدار ثانویه قرار گیرند؟
ب) انرژی الکتریکی مصرفی ترانسفورماتور در مدت یک ماه برحسب کیلووات‌ساعت چقدر است؟
پ) چه جریانی از هر لامپ می‌گذرد؟
پاسخ: الف) $n = ۴$ ب) $W = ۳۶۰\text{kWh}$ پ) $I = \frac{۱}{۲}\text{A}$

۶. یک مولد جریان متناوب به توان ۱۵ کیلووات دارای اختلاف پتانسیل ۳۰۰۰ ولت است. این انرژی الکتریکی را به‌وسیلهٔ ترانسفورماتوری که بازده آن ٪۸۰ است از محل تولید به محل مصرف منتقل می‌کنیم. در صورتی‌که ضریب تبدیل $\frac{n_۲}{n_۱} = ۲۰$ و فاصلهٔ محل تولید تا مصرف ۱۰۰ کیلومتر و مقاومت کابل ۳Ω باشد، مقادیر زیر را حساب کنید
الف) شدت جریان در مدار ثانویه.
ب) توان تلف‌شده در کابل.
پ) قطر کابل مصرف شده ($\rho = ۹٫۴۲ \times ۱۰^{-۳}\mu\Omega\text{m}$ مقاومت ویژه).
پاسخ: الف) $I_۲ = ۰٫۲\text{A}$ ب) $P = ۷۵\text{W}$ پ) $D = ۲\text{cm}$

۷. می‌خواهیم ۱۱ کیلووات را به‌وسیلهٔ سیمهایی به مقاومت $۰٫۴\Omega$ انتقال دهیم. اگر اختلاف پتانسیل در ابتدا ۲۲۰ ولت باشد
الف) اتلاف انرژی و بازده مفید خط انتقال را حساب کنید.
ب) اگر بخواهیم همان توان را با کمک همان سیمها انتقال دهیم باید چکار کنیم تا اتلاف انرژی به یک میلیونیم حالت قبل برسد؟
پاسخ: الف) $P = ۱۰۰۰\text{W}$ ٪۹۱= R_a ب) $V = ۲۲۰,۰۰۰$ ولت

۸. برای انتقال انرژی الکتریکی مولدی به توان ۲۰ کیلووات با اختلاف پتانسیل ۴۰۰ ولت توانی به‌اندازهٔ ۱۰۰۰ وات در کابل انتقال تلف می‌شود.
الف) مقاومت کابل انتقال را حساب کنید.
ب) اگر از ترانسفورماتور افزاینده‌ای با ضریب تبدیل ۱۰۰ و بازده ٪۸۰ برای این انتقال استفاده شود، توان تلف‌شده در همان کابل چقدر می‌شود؟
پاسخ: الف) $r = ۰٫۴\Omega$ ب) $p = ۰٫۱۵۶۲۵\text{W}$

۹. چهار لامپ مشابه هر یک به مقاومت ۱۳۵۰Ω در مدار ثانویهٔ ترانسفورماتوری به‌طور موازی بسته شده‌اند. اگر جریانی که از هر لامپ می‌گذرد $\frac{۱}{۳}$ آمپر و ضریب تبدیل برابر $\frac{۳}{۲}$ باشد، مدار اولیهٔ

ترانسفورماتور از شبکه برق شهر چه جریانی می‌گیرد، در صورتی‌که بدانیم بازده ترانسفورماتور ۸۰٪ است؟

پاسخ: $I_1 = ۲/۵\text{A}$

۱۰. چهار لامپ کوچک ۱/۵ ولت و ۳ وات را به‌طور متوالی به‌هم می‌بندیم و می‌خواهیم لامپها را با استفاده از ترانسفورماتور روشن کنیم. اگر بازده مبدل ۸۰ درصد و ضریب تبدیل $\frac{۱}{۴}$ باشد، شدت جریان و اختلاف پتانسیل مدار اولیه مبدل و انرژی مصرف‌شده در لامپها در مدت ۱۰۰ ساعت چه اندازه است؟

پاسخ: ۱۸V، ۲A، ۱/۲kW.

۳

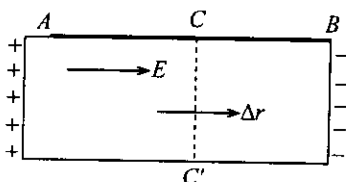
جریان متناوب

۳ـ۱ مقدمه

هرگاه میان دو نقطهٔ A و B از یک رسانا مطابق شکل ۳-۱ اختلاف پتانسیل الکتریکی $V_A - V_B$ برقرار شود، میدان $\boldsymbol{E}$ در جهت پتانسیل بالاتر به پتانسیل کمتر به‌وجود می‌آید و بر هر بار الکتریکی نیروی $\mathbf{F}$ اثر و آن‌را جابه‌جا می‌کند. چنانچه در بازهٔ زمانی Δt بار خالصی برابر Δq از مقطع رسانا بگذرد، نسبت $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ را شدت جریان متوسط و حد این مقدار را شدت جریان لحظه‌ای می‌نامیم. داریم

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

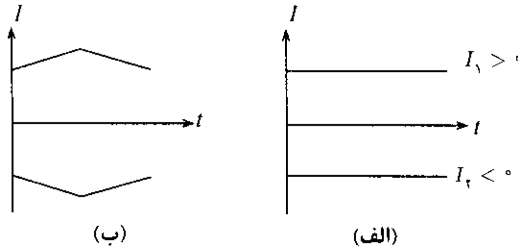


شکل۳-۱

شدت جریان لحظه‌ای، آهنگ شارش بار از هر مقطع مدار و برابر مشتق معادلهٔ بار الکتریکی است یعنی

$$I = \frac{dq}{dt}$$

چنانچه بار خالصی که از یک مقطع می‌گذرد در یک جهت باشد جریان را مستقیم[1] (dc) می‌نامند. جریان مستقیم می‌تواند ثابت یا متغیر باشد. نمودار ۳-۲ الف و ب جریان مستقیم ثابت و متغیر را نشان می‌دهد.



شکل۳-۲

چنانچه جهت و مقدار بار خالصی که از مقطع رسانا می‌گذرد به‌طور دوره‌ای تغییر کند جریان را متناوب[2] می‌نامند. ساده‌ترین جریان متناوب جریان سینوسی است که معادلهٔ آن به‌صورت $I = I_m \sin \omega t$ است. در این فصل به بررسی ویژگیهای این جریان و رابطه‌های میان اختلاف پتانسیل V، جریان I و توان P در یک مدار تک‌حلقه‌ای که شامل مقاومت الکتریکی R، القاگر L و خازن C است می‌پردازیم.

۳ـ۲ جریان متناوب

مداری شامل یک آلترناتور و سیم مقاومت‌داری را در نظر می‌گیریم. چنانچه نیروی محرکهٔ دو سر آلترناتور برابر $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$ باشد، شدت جریانی که هر لحظه از مدار می‌گذرد برابر است با

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_{\max}}{R} \sin \omega t$$

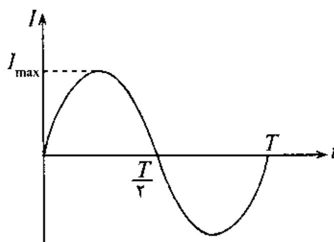
در دورهٔ T، شدت جریان I، بین دو مقدار $+\frac{\varepsilon_{\max}}{R}$ و $-\frac{\varepsilon_{\max}}{R}$ تغییر می‌کند و مقدار متوسط آن برابر صفر است. $\frac{\varepsilon_{\max}}{R}$ را با $I_{\max}$ نشان می‌دهیم. بنابراین رابطهٔ شدت جریان چنین است

$$I = I_{\max} \sin \omega t$$

نمودار تغییرات جریان ـ زمان در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.

مثال ۱. معین کنید جریان $I = 2 \sin 100\pi t$ در هر نیم‌دوره $\left(\frac{T}{2}\right)$ چه مقدار بار خالص

1- direct current 2- alternative current



شکل۳-۳

از یک مقطع مدار می‌گذراند.

حل:

$$I = \frac{dq}{dt}, \qquad dq = Idt$$

$$q = \int_{۰}^{\frac{T}{۲}} Idt = \int_{۰}^{\frac{T}{۲}} I_{\max} \sin \omega dt$$

$$= \left[-\frac{I_{\max}}{\omega} \cos \omega t\right]_{۰}^{\frac{T}{۲}} = -\frac{I_{\max}}{\omega} \left[\cos \omega \frac{T}{۲} - \cos \omega \times ۰\right]$$

$$= \frac{۲I_{\max}}{\omega} = \frac{I_{\max}}{۲\pi/T}$$

در این مثال $I_{\max} = ۲\text{A}$ و $T = \frac{۲\pi}{\omega} = \frac{۲\pi}{۱۰۰\pi} = ۰/۰۲\text{s}$، بنابراین

$$q = \frac{I_{\max} T}{۲\pi} = \frac{۲ \times ۰/۰۲}{۳/۱۴ \times ۲} \simeq ۶/۲۸ \times ۱۰^{-۳}$$ کولن

مشخص است که در هر دورهٔ T بار خالصی که از مقطع مدار می‌گذرد برابر صفر است زیرا می‌توان نوشت

$$q = \int_{۰}^{T} dq = \int_{۰}^{T} Idt = \int_{۰}^{T} I_{\max} \sin \omega t dt$$

$$= \left[-\frac{I_{\max}}{\omega} \cos \omega t\right]_{۰}^{T} = -\frac{I_{\max}}{\omega} [\cos \omega T - \cos ۰] = ۰$$

▲

هر دورهٔ T شامل دو نیم‌دورهٔ $\frac{T}{۲}$ است. هر نیم‌دوره را یک آلترنانس می‌نامند. مقدار متوسط جریان در هر آلترنانس برابر است با

$$\bar{I} = \frac{q}{T/۲} = \frac{I_{\max} T/۲\pi}{T/۲} = \frac{I_{\max}}{\pi}$$

در یک دورهٔ T مقدار متوسط جریان برابر صفر است.

۳ـ۳ شدت جریان مؤثر

اختلاف پتانسیل و شدت جریان متناوب دائماً تغییر می‌کنند و آمپرسنج و ولت‌سنج نمی‌توانند از این تغییرات سریع پیروی کنند و مقادیر لحظه‌ای را نشان دهند، از این‌رو برای جریان متناوب، شدت جریان مؤثر، I_e را درنظر می‌گیرند.

شدت جریان مؤثر هر جریان متناوب، برابر شدت جریان پیوسته‌ای است که در هر دورهٔ تناوب جریان متناوب، در هر مقاومت گرمایی به‌اندازهٔ جریان متناوب تولید کند.

برای محاسبهٔ I_e می‌توان در هر بازهٔ زمانی کوچک dt جریان متناوب را مانند جریان مستقیم درنظر گرفت. مقدار انرژی گرمایی که این جریان در مقاومت R تولید می‌کند از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$dW = RI^۲ dt$$

در یک دورهٔ T مقدار انرژی گرمایی حاصل در مقاومت R برابر مجموع مقادیر جزئی و برابر است با

$$\begin{aligned} W &= \int_۰^T dw = \int_۰^T RI^۲ dt = R\int_۰^T I^۲ dt \\ &= RI_{\max}^۲ \int_۰^T \sin^۲ \omega t dt = RI_{\max}^۲ \left[\frac{۱ - \cos ۲\omega t}{۲}\right]_۰^T \\ &= \frac{۱}{۲} RI_{\max}^۲ \end{aligned}$$

از طرف دیگر بنابر تعریف شدت جریان مؤثر، مقدار انرژی ایجادشده در یک دورهٔ T برابر است با

$$W = RI_e^۲ T$$

بنابراین می‌توان نوشت

$$RI_e^۲ T = \frac{۱}{۲} RI_{\max}^۲$$
$$I_e = \frac{I_{\max}}{\sqrt{۲}}$$

نیروی محرکه و اختلاف پتانسیل مؤثر از رابطه‌هایی شبیه رابطهٔ بالا به‌دست می‌آیند و برابرند با

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_{\max}}{\sqrt{۲}} \quad \text{و} \quad V_e = \frac{V_{\max}}{\sqrt{۲}}$$

مثال ۲. جریانی به معادلهٔ $I = ۱۲ \sin ۱۰۰\pi t$ از مداری می‌گذرد. مطلوب است: الف) دوره و بسامد جریان، ب) شدت جریان مؤثر.

حل: الف) با مقایسهٔ رابطهٔ کلی جریان متناوب و رابطهٔ داده شده $I_{\max}$ و T و ν به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند

$$I = I_{\max} \sin \omega t$$
$$= ۱۲ \sin ۱۰۰ \pi t$$

دوره جریان برابر است با

$$\frac{۲\pi}{T} = ۱۰۰\pi \Longrightarrow \qquad T = \frac{۱}{۵۰} = ۰/۰۲\text{s}$$

برای بسامد جریان داریم

$$\nu = \frac{۱}{T} = \frac{۱}{۰/۰۲} = ۵۰\,\text{Hz}$$

ب) $I_e = \frac{I_{\max}}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۲}{\sqrt{۲}} = ۶\sqrt{۲} = ۸/۴\text{A}$

▲

۴ـ۳ ویژگیهای جریان متناوب

الف) اثر گرمایی ـ هرگاه از رسانایی که دارای مقاومت است جریان الکتریکی متناوب عبورکند، در آن رسانا گرما تولید می‌شود، یعنی انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی تبدیل می‌گردد. مقدارگرمای تولیدشده برابر است با $W = RI_e^۲t$. در این رابطه t زمان عبور جریان، R مقاومت رسانا، W انرژی و I_e شدت مؤثر جریان متناوب است (قانون ژول).

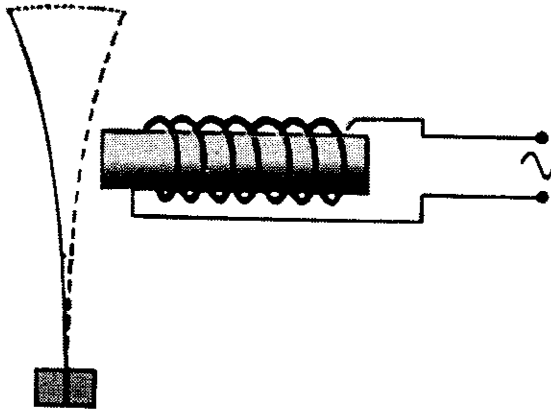
جریان متناوب هم مانند جریان پیوسته در هنگام عبور از سیم دارای مقاومت، گرما تولید می‌کند. بنابراین، اثرگرمایی جریان به جهت جریان الکتریسیته بستگی ندارد.

ب) اثر مغناطیسی ـ هرگاه از یک سیم رسانا جریان الکتریکی پیوسته عبورکند در اطراف آن سیم میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آید (آزمایش اورستد). جهت این میدان مغناطیسی به جهت جریان بستگی دارد.

چنانچه به‌جای جریان مستقیم جریان متناوبی به معادلهٔ $I = I_m \sin \omega t$ از رسانا عبورکند، در اطراف رسانا میدان مغناطیسی متناوب ایجاد می‌شود. معادلهٔ میدان مغناطیسی در هر نقطه اطراف رسانا $B = B_{\max} \sin \omega t$ است و می‌توان نتیجه گرفت که بسامد میدان با بسامد جریان برابر است.

هرگاه جریان متناوبی از سیملوله‌ای بگذرد، درون سیملوله میدان مغناطیسی متناوب تولید می‌شود. چنانچه بسامد جریان ۵۰ هرتز باشد هر طرف سیملوله در هر ثانیه ۵۰ بار قطب N و ۵۰ بار قطب S خواهد شد. اگر هستهٔ سیملوله از آهن نرم باشد هر طرف میلهٔ آهنی در هر ثانیه ۵۰ بار قطب شمال و ۵۰ بار قطبِ جنوب می‌شود. با روشهای زیر می‌توان بسامد جریان را اندازه گرفت.

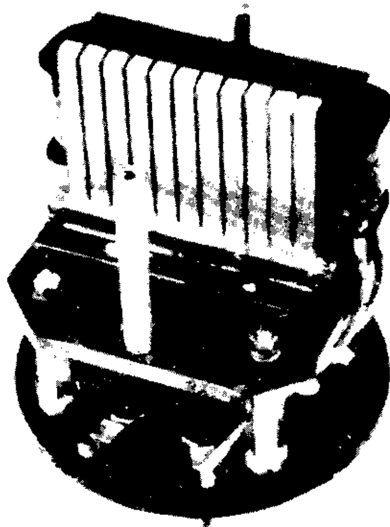
اگر جلوی یکی از دو قطب سیملوله یک تیغهٔ آهن نرم قرار دهیم و طول آن را طوری تنظیم کنیم که بسامد ویژهٔ آن با بسامد ضربه‌های متناوبی که توسط آهنربا دریافت می‌کند برابر باشد، نظیر شکل ۳-۴ تیغه به تشدید درمی‌آید. در این حالت بسامد تیغه دوبرابر بسامد شدت جریانی است که از



شکل ۳-۴

سیملوله می‌گذرد، یعنی $\nu' = 2\nu = 100\,\text{Hz}$. از این خاصیت تشدید در صنعت در دستگاهی به‌نام نوسان‌سنج (فرکانس متر) برای کنترل بسامد جریانهای متناوب استفاده می‌شود، شکل ۳-۵.

اگر تیغه از فولاد باشد، خاصیت مغناطیسی تشدید پیدا می‌کند و به‌طور متناوب ضمن آلترنانسهای متوالی جذب و دفع می‌شود، به طریقی که بسامد ارتعاش تیغه برابر بسامد جریان متناوبی است که از سیملوله عبور می‌کند، $\nu' = \nu = 50\,\text{Hz}$.



شکل ۳-۵

مثال ۳. تار مرتعشی از آهن نرم به‌طول یک متر و قطر ۰٫۵ میلیمتر و چگالی $8\,\text{g/cm}^3$ بین دو نقطه

محکم شده است. یک آهنربای الکتریکی در نزدیکی تار مرتعش قرار گرفته است و از آن جریان متناوبی با دورهٔ تناوب ۰٫۰۲ ثانیه می‌گذرد. نیروی کشش تار باید چقدر باشد تا دامنهٔ ارتعاش آن بیشینه باشد و در طول تار دو گره ایجاد شود؟

حل: در فرمول تار مرتعش، $\nu = \frac{k}{2l}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$، به‌جای μ قرار می‌دهیم

$$\mu = \frac{m}{l} = \frac{\rho \pi D^2}{4}$$

در نتیجه فرمول تار مرتعش به‌صورت $\nu = \frac{k}{lD}\sqrt{\frac{F}{\rho\pi}}$ به‌دست می‌آید که هرگاه مقادیر داده شده را جایگزین کنیم نتیجه می‌گیریم

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02} = 50\,\text{Hz} \Longrightarrow \text{بسامد تار مرتعش} \quad \nu = 2 \times 50 = 100\,\text{Hz}$$

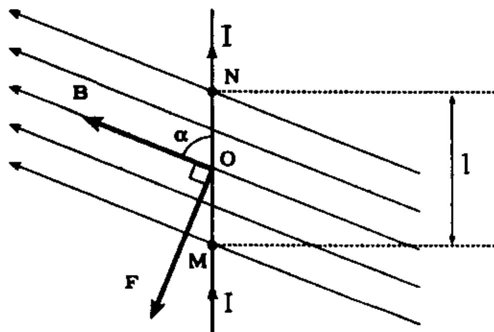
$$100 = \frac{1}{1 \times 0.5 \times 10^{-3}}\sqrt{\frac{F}{8000 \times 3.14}} \Rightarrow F = 63\,\text{N}$$

▲

۵ـ۳ اثر میدان مغناطیسی بر جریان الکتریکی

هرگاه قسمتی از یک مدار الکتریکی (قسمتی از سیم راست) که از آن جریان I می‌گذرد مطابق شکل ۳-۶ در میدان مغناطیسی یکنواخت B قرار گیرد، نیرویی بر سیم حامل جریان وارد می‌شود و اندازهٔ آن طبق قانون لاپلاس[1] برابر است با

$$F = BlI \sin\alpha$$

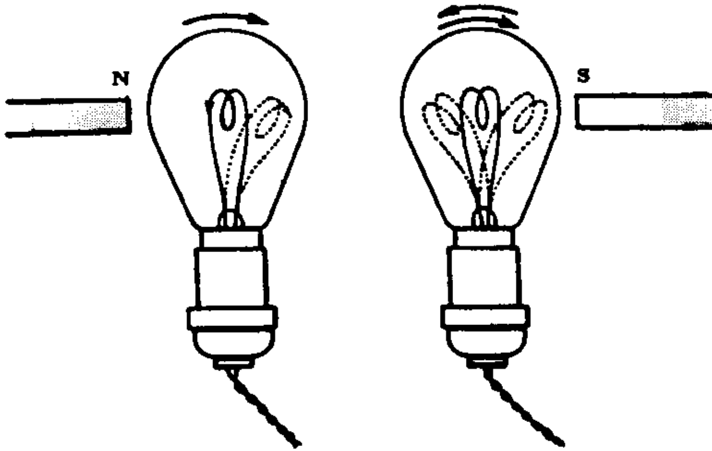


شکل۳-۶

در این فرمول یکای B تسلا و یکای شدت جریان آمپر است. l طول سیم حامل جریان که در میدان مغناطیسی قرار دارد با یکای متر و F نیروی الکترومغناطیس وارد بر سیم حامل جریان با یکای نیوتون اندازه گرفته می‌شود. α زاویهٔ بین امتداد میدان و امتداد سیم حامل جریان است.

1- Laplace, Marquis Pierre Simon de

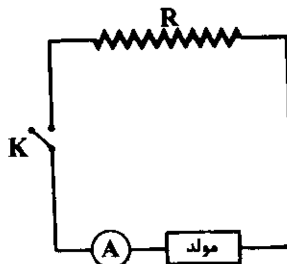
هرگاه از این سیم جریان متناوب عبور کند، نیروی الکترومغناطیسی نیز متناوب خواهد بود و بسامد آن با بسامد جریان متناوب برابر و با آن همفاز است. هرگاه قسمتی از مدار بتواند حرکت کند، در اطراف وضع تعادل خود حرکت نوسانی با بسامد جریان متناوب خواهد داشت. در شکل ۳-۷ اگر قطب یک آهنربا را به یک رشتهٔ بلند و قابل ارتعاش درون یک لامپ الکتریکی که با برق شهر روشن شده است نزدیک کنیم، مشاهده می‌شود که رشتهٔ گداختهٔ درون لامپ با بسامدی مساوی بسامد برق شهر به ارتعاش درمی‌آید.



شکل۳-۷

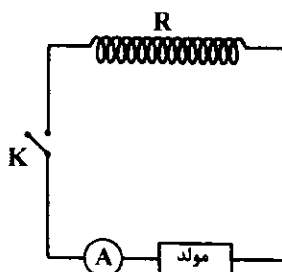
۳ـ۶ اثر خودالقایی

آزمایش ۱ـ سیمی به مقاومت R را با آمپرسنج و مولدی مطابق شکل ۳-۸ به‌طور متوالی می‌بندیم. با بستن کلید K عقربهٔ آمپرسنج به‌سرعت حرکت می‌کند و روی عدد معینی (که با قانون اهم یعنی $R = V/I$ تعیین می‌شود) می‌ایستد.

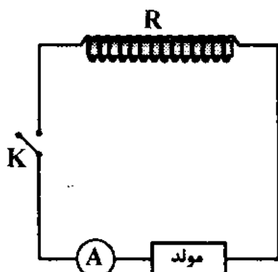


شکل۳-۸

آزمایش ۲ـ سیم آزمایش اول را نظیر شکل ۳-۹ به‌صورت سیملوله درمی‌آوریم و در همان مدار قرار می‌دهیم. مشاهده می‌شود که عقربهٔ آمپرسنج به‌کندی حرکت می‌کند و روی همان عدد قبلی می‌ایستد.



شکل ۳-۹



شکل ۳-۱۰

آزمایش ۳ـ هرگاه درون سیملوله مانند شکل ۳-۱۰ یک هستهٔ آهنی قرار دهیم مشاهده می‌شود که عقربهٔ آمپرسنج نسبت به آزمایش قبلی کندتر حرکت می‌کند و سرانجام روی همان عدد قبلی می‌ایستد.

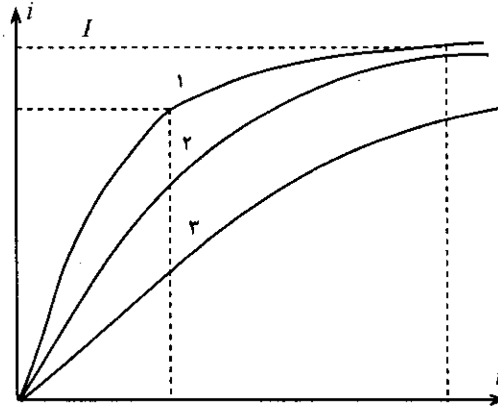
علت حرکت کند عقربه در حالتهای دوم و سوم در لحظهٔ اتصال کلید به باتری آن است که شدت جریان در مدار تغییر می‌کند و تغییر شدت جریان سبب تغییر شار مغناطیسی در سیملوله می‌شود. با تغییر شار در سیملوله، نیروی محرکهٔ القایی و جریان القایی تولید می‌شود که با عبور شدت جریان اصلی مخالفت می‌کند (قانون لنز). اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی در آزمایش ۱ که سیم راست به‌کار برده بودیم بسیار ناچیز است. در آزمایش ۲ و ۳ که سیملوله به‌کار رفته است اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی نسبتاً قابل ملاحظه است. این پدیده را پدیدهٔ القا و نیروی محرکهٔ ایجادشده را نیروی محرکهٔ خودالقایی[1] می‌نامند. این پدیده به هنگام قطع و وصل کلید به‌وجود می‌آید. تغییرات شدت جریان برحسب زمان در این سه آزمایش در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. چنانچه مولد جریان متناوب در مدار قرار گیرد، نیروی محرکهٔ خودالقایی به‌طور مداوم به‌وجود می‌آید.

۳ـ۷ محاسبهٔ نیروی محرکهٔ خودالقایی

شدت میدان مغناطیسی درون یک سیملوله با شدت جریانی که از آن عبور می‌کند متناسب است ($B\alpha I$ زیرا $B = \frac{4 \times 10^{-7}\pi NI}{l}$ است). همچنین شار مغناطیسی که در مدار ایجاد می‌شود با شدت میدان مغناطیسی متناسب است ($\varphi\alpha B$ زیرا $\varphi = AB\ \cos\theta$). به این‌ترتیب شار مغناطیسی با شدت جریان نسبت مستقیم دارد. پس می‌توان نوشت

$$\varphi = LI$$

1- Self - induced emf



شکل۳-۱۱

L را ضریب خودالقا (اندوکتانس[1]) می‌نامند و یکای آن هانری است. چنانچه از رابطهٔ $\varphi = LI$ نسبت به زمان مشتق بگیریم، داریم

$$\frac{d\varphi}{dt} = L\frac{dI}{dt}$$

و بنا بر قانون فارادی در القای الکترومغناطیسی نیروی محرکه برابر است با

$$E = -\frac{d\varphi}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$$

یعنی نیروی محرکهٔ خودالقایی با آهنگ تغییر جریان نسبت مستقیم دارد. (علامت منها در جلوی رابطه مربوط به توجیه قانون لنز است).

یک هانری ضریب خودالقای مداری است که اگر آهنگ تغییر شدت جریان برابر یک آمپر بر ثانیه باشد، نیروی محرکهٔ خودالقایی برابر یک ولت در آن مدار ایجاد شود.

۳ـ۸ محاسبهٔ ضریب خودالقایی سیملوله

می‌دانیم بیشینهٔ شاری که از یک سیملوله که شامل N حلقه است عبور می‌کند برابر است با $\varphi_m = NAB$ و شدت میدان مغناطیسی درون سیملوله برابر است با

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} NI}{l} = \frac{\mu_\circ NI}{l}$$

در نتیجه شار مغناطیسی برابر است با

$$\varphi = N\left(\frac{\mu_\circ NI}{l}\right) A = \mu_\circ \frac{N^2 AI}{l}$$

هرگاه از این رابطه نسبت به زمان مشتق بگیریم داریم

$$\frac{d\varphi}{dI} = \frac{\mu_\circ N^2 A}{l} \cdot \frac{dI}{dt}$$

1- inductance

آن‌را در قانون فارادی در القای الکترومغناطیسی قرار می‌دهیم، پس

$$E = -\frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow E = -\frac{\mu_۰ N^۲ A}{l} \cdot \frac{dI}{dt}$$

از طرف دیگر نیروی محرکهٔ خودالقایی E برابر است با

$$E = -L\frac{dI}{dt}$$

از مساوی قرار دادن دو رابطهٔ اخیر نتیجه می‌شود که

$$L = \frac{\mu_۰ N^۲ A}{l}$$

برای سیملوله‌ای که دارای هسته است، ضریب k را که معرف قابلیت نفوذ مغناطیسی هستهٔ درون سیملوله است قرار می‌دهیم و می‌نویسیم $L = \frac{\mu_۰ k N^۲ A}{l}$. در این رابطه A سطح یک حلقه، N تعداد حلقه‌ها، l طول سیملوله و $\mu_۰ = ۱۲/۵۶ \times ۱۰^{-۷}$ با یکای تسلامتربرآمپر (قابلیت نفوذ مغناطیسی در خلأ) و L اندوکتانس سیملوله با یکای هانری است.

۳ـ۹ انرژی ذخیره‌شده در یک القاگر

مشاهده کردیم که با تغییر جریان در یک القاگر نظیر یک سیملوله، نیروی محرکهٔ القایی در آن به‌وجود می‌آید. به‌عبارت دیگر بین دو سر القاگر اختلاف پتانسیل القایی ایجاد می‌شود و این منبع تولید جریان به القاگر انرژی می‌دهد. با اتصال مدار بلافاصله جریان در مدار برقرار نمی‌شود بلکه مدتی طول می‌کشد تا جریان از صفر به I برسد. در زمان عبور جریان از مولد، انرژی داده شده به مدار به القاگر داده می‌شود که به این‌ترتیب محاسبه می‌شود:

با تغییر جریان از صفر به I، در یک لحظه جریان را I' درنظر می‌گیریم و در یک لحظهٔ بعد جریان به‌اندازهٔ dI' زیاد می‌شود. با افزایش جریان نیروی محرکهٔ خودالقایی در سیملوله ایجاد می‌شود که با عبور جریان مخالفت می‌کند و در نتیجه به القاگر انرژی داده می‌شود. با استفاده از رابطهٔ توان الکتریکی نتیجه می‌گیریم

$$P = EI' = LI'\frac{dI'}{dt} \Rightarrow Pdt = LI'dI'$$

Pdt انرژی داده شده به القاگر در زمان dt است و آن‌را با dU نشان می‌دهیم. درنتیجه داریم، $dU = LI'dI'$.

با انتگرال‌گیری از این رابطه، انرژی ذخیره‌شده در القاگر به‌دست می‌آید

$$U = \int_۰^I dU = \int_۰^I LI'dI' = L\int_۰^I I'dI'$$
$$= \frac{۱}{۲}LI^۲$$

این انرژی درون سیملوله ذخیره می‌شود. برای سیملوله‌ای با ضریب خودالقای L مقدار انرژی برابر است با

$$U = \frac{1}{2}\mu_\circ \frac{N^2 A}{l} I^2$$

اگر طول سیملوله بسیار زیاد باشد، میدان مغناطیسی محدود به فضای درون سیملوله خواهد بود. حجم درونی سیملوله برابر lA است و چنانچه انرژی درون سیملوله را یکنواخت درنظر بگیریم، چگالی انرژی یعنی انرژی در واحد حجم درون سیملوله برابر است با

$$u = \frac{U}{lA} = \frac{\frac{1}{2}\mu_\circ N^2 A I^2}{l^2 A} = \frac{1}{2}\mu_\circ \frac{N^2 I^2}{l^2}$$

می‌دانیم میدان مغناطیسی حاصل از جریان در سیملوله برابر است با

$$B = \mu_\circ \frac{NI}{l}$$

در نتیجه می‌توان نوشت

$$u = \frac{1}{2\mu_\circ} \cdot \mu_\circ^2 \frac{N^2 I^2}{l^2} = \frac{1}{2\mu_\circ} B^2$$

این رابطه نشان می‌دهد که انرژی در واحد حجم، یعنی چگالی انرژی، با مجذور میدان مغناطیسی متناسب است.

خلاصهٔ فصل

بر هر بار الکتریکی که در میدان E قرار گیرد نیروی F وارد می‌شود. آهنگ شارش بار الکتریکی را از مقطع مدار، شدت جریان می‌نامند.

چنانچه جهت و مقدار باری که از مقطع رسانا می‌گذرد به‌طور دوره‌ای تغییر کند، جریان را متناوب می‌نامند. در این صورت شدت جریان یک تابع سینوسی از زمان است و بار خالصی که از مقطع مدار در هر دورهٔ T می‌گذرد برابر صفر است.

شدت جریان مؤثر در جریان متناوب برابر شدت جریان پیوسته‌ای است که در هر دوره و هر مقاومت، گرمایی به‌اندازهٔ جریان متناوب تولید کند. جریان متناوب دارای اثر گرمایی و مغناطیسی است و چون از یک رسانا عبور کند، آن‌را گرم می‌کند و در اطراف آن میدان مغناطیسی متناوب به‌وجود می‌آورد.

میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان متناوب اثر می‌کند و بر آن نیرو وارد می‌کند. این نیروی متناوب سبب ارتعاش سیم حامل جریان می‌شود.

هرگاه از یک سیملوله جریان متناوب عبور کند، به علت تغییر شار مغناطیسی درون سیملوله، نیروی محرکهٔ خودالقایی و جریان القایی تولید می‌شود. جهت جریان القایی همواره با عامل ایجادکنندهٔ خود مخالفت می‌کند. نیروی محرکهٔ القایی با آهنگ جریان متناسب است، یعنی $\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$. واحد L

یعنی ضریب خودالقا هانری است. یک هانری ضریب خودالقای مداری ست که اگر آهنگ تغییر شدت جریان برابر یک آمپر بر ثانیه باشد، نیروی محرکهٔ خودالقایی برابر یک ولت تولید کند. اندازهٔ ضریب خودالقایی در یک سیملوله $\left(L = \frac{k\mu_{\circ} N^{2} A}{l}\right)$ با مجذور تعداد حلقه‌ها و سطح حلقه نسبت مستقیم و با طول سیملوله نسبت وارون دارد.

انرژی ذخیره‌شده در خودالقا، $E = \frac{1}{2} L I^{2}$، با مجذور شدت جریانی که از آن عبور می‌کند متناسب است و چگالی انرژی $\left(u = \frac{B^{2}}{2\mu_{\circ}}\right)$ با مجذور میدان مغناطیسی نسبت مستقیم دارد.

هدفهای آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- چگونگی ایجاد جریان متناوب را شرح دهید و نمودار نیروی محرکه ـ زمان را رسم کنید.
- اثرهای گرمایی و مغناطیسی جریان متناوب را بیان کنید.
- شدت مؤثر را تعریف کنید و رابطهٔ آن‌را به‌دست آورید.
- اثر میدان مغناطیسی را بر جریان متناوب توضیح دهید.
- اثر خودالقایی در مدار یک سیملوله را شرح دهید و نمودار شدت جریان ـ زمان را رسم کنید.
- نیروی محرکهٔ القایی را تعریف و رابطهٔ آن‌را پیدا کنید.
- یکای ضریب خودالقایی را تعریف کنید و مقدار ضریب خودالقایی یک سیملوله را به‌دست آورید.
- انرژی ذخیره‌شده در یک القاگر را توضیح دهید و رابطهٔ چگالی انرژی را در سیملوله محاسبه کنید.

خود را بیازمایید

پرسشها

۱. شدت جریان متناوب را می‌توان به‌وسیلهٔ رئوستا یا به‌وسیلهٔ سیملوله (خودالقا) در مدار کاهش داد. کدامیک از این دو وسیله برای این منظور بهتر است و چرا؟

۲. القای یکای طول سیملوله در نزدیکی مرکز آن از القای یکای طول سیملوله در انتهای آن

الف) بیشتر است ب) کمتر است پ) با آن مساوی است.

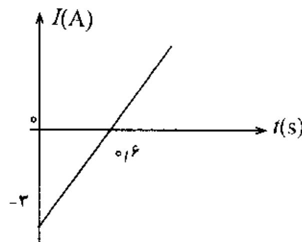
۳. سیملوله‌های A و B که به ترتیب از آهن و مس‌اند طولها و قطرهای یکسان دارند. اگر سیملولهٔ A شامل N دور سیم نازک و سیملولهٔ B شامل N دور سیم کلفت باشد، ضریب خودالقایی کدامیک بیشتر است؟

۴. چه نوع جریانی را جریان متناوب می‌نامند؟ چند ویژگی جریان متناوب را بنویسید و نمودار شدت‌ـ زمان آن‌را رسم کنید.
۵. دوره و بسامد و آلترنانس را در جریان متناوب تعریف کنید.
۶. از دو اثر گرمایی و مغناطیسی کدامیک برای جریانهای متناوب و پیوسته یکسان است و بستگی به نوع جریان ندارد؟ و چرا؟
۷. برای آنکه مقاومت خالص و بدون اثر خودالقا در مسیر جریان متناوب به‌کار بریم از سیم راست استفاده می‌کنیم یا آن‌را دولا می‌کنیم و به شکل سیملوله درمی‌آوریم
الف) علت آن‌را شرح دهید.
ب) کدامیک بهتر است؟
۸. آمپرسنجها و ولت‌سنجهایی که بر اساس خاصیت مغناطیسی جریان ساخته شده‌اند چگونه برای جریان متناوب مورد استفاده قرار می‌گیرند؟
۹. شدت مؤثر در جریان متناوب را تعریف کنید و چگونگی اندازه‌گیری آن‌را شرح دهید.

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. تغییرات شدت جریان نسبت به زمان در یک القاگر به ضریب خودالقایی ۰٫۲H مطابق شکل ۳-۱۲ است. اندازهٔ نیروی محرکهٔ القاشده چند ولت است؟

الف) ۱   ب) ۲   پ) ۵   ت) ۱۰



شکل۳-۱۲

۲. از سیمی به مقاومت ۲۵ اهم جریان متناوبی می‌گذرد. هرگاه توان متوسط مصرف‌شده در سیم برابر ۲۰۰ وات باشد، بیشینهٔ جریان چند آمپر است؟

الف) $۴\sqrt{۲}$ ب) $۲\sqrt{۲}$ پ) ۴   ت) ۲

۳. جریان متناوب سینوسی در یک مقاومت $R = ۵\Omega$ در هر دقیقه ۲٫۴ کیلوژول انرژی تلف می‌کند. بیشینهٔ شدت جریان چند آمپر است؟

الف) ۲   ب) $۲\sqrt{۲}$ پ) ۴   ت) $۴\sqrt{۲}$

۴. بین دو سر سیمی به مقاومت R اختلاف پتانسیل متناوبی را که مقدار مؤثر آن V_e است برقرار می‌کنیم. اگر این سیم را به شکل سیملوله درآوریم و همان اختلاف پتانسیل را بین دو سر آن قرار دهیم، گرمای ایجادشده در یک مدت معین

الف) تغییر نمی‌کند.

ب) کمتر می‌شود.

پ) بیشتر می‌شود.

ت) بسته به مقادیر R و V_e ممکن است بیشتر یا کمتر شود.

۵. از سیملوله‌ای به مقاومت R یک‌بار جریان پیوسته‌ای به شدت ۲A و بار دیگر جریان متناوبی که شدت مؤثر آن در سیملوله ۲A است عبور می‌دهیم. اگر گرمای ایجادشده در سیملوله در زمانهای مساوی و نسبتاً زیاد به‌ترتیب $Q_۱$ و $Q_۲$ باشد، کدام رابطه صحیح است؟

الف) $Q_۱ = Q_۲$ ب) $Q_۱ > Q_۲$

پ) $Q_۱ < Q_۲$ ت) $Q_۱ = \sqrt{۲}Q_۲$

۶. از سیملوله‌ای به ضریب خودالقایی ۰٫۲ هانری، جریانی به معادلهٔ $I = ۵t + ۲$ (I برحسب آمپر و t برحسب ثانیه) می‌گذرد. نیروی محرکهٔ القاشده در سیملوله چند ولت است؟

الف) ۰٫۲ ب) ۵ پ) ۱ ت) صفر

۷. از سیمی به مقاومت الکتریکی ۱۰Ω جریان متناوبی به معادلهٔ $I = ۳\sin\left(۱۰۰\pi t - \frac{\pi}{۶}\right)$ عبور می‌کند، در هر ثانیه چند ژول گرما در این سیم تولید می‌شود؟

الف) ۱۵ ب) ۳۰ پ) ۴۵ ت) ۹۰

۸. از یک رسانای ۱۰ اهمی جریان متناوبی به مدت ۳٫۵ دقیقه عبور می‌کند و گرمای حاصل از آن دمای مقداری آب را که ظرفیت گرمایی آن ۴۲۰ ژول بر درجهٔ سلسیوس است ۲۰ درجهٔ سلسیوس افزایش می‌دهد. شدت جریان مؤثر چند آمپر است؟

الف) ۱ ب) ۲ پ) ۳ ت) ۴

۹. از سیملوله‌ای جریانی به شدت ۵A عبور می‌کند. اگر در مدت $\frac{۱}{۴۰}$ ثانیه، شدت جریان به‌طور یکنواخت کم شود و به صفر برسد، نیروی محرکهٔ القایی ۲ ولت تولید می‌شود. ضریب خودالقایی سیملوله چند هانری است؟

الف) ۰٫۰۱ ب) ۰٫۲۵ پ) ۰٫۴۰ ت) ۱٫۲۵

۱۰. القاگر آرمانی (سیملولهٔ بدون مقاومت) در مدار جریان متناوب،

الف) انرژی را فقط به‌صورت گرما تلف می‌کند.

ب) انرژی را فقط در میدان الکتریکی ذخیره می‌کند.

پ) انرژی را فقط در میدان مغناطیسی ذخیره می‌کند.

ت) هم انرژی را تلف کرده و هم در میدان مغناطیسی ذخیره می‌کند.

۱۱. تعداد دور سیملوله‌ای را دوبرابر می‌کنیم. اگر طول و بقیهٔ مشخصه‌ها ثابت بماند، ضریب خودالقایی سیملوله چند برابر می‌شود؟

الف) ۴ ب) ۲ پ) $\frac{۱}{۲}$ ت) $\frac{۱}{۴}$

۱۲. از یک سیملوله جریان متناوبی به معادلهٔ $I = ۳\sin\omega t$ (I برحسب آمپر و t برحسب ثانیه) می‌گذرد. اگر بیشینهٔ انرژی مغناطیسی ذخیره‌شده ۲٫۲۵ ژول باشد، ضریب خودالقایی سیملوله چند هانری است؟

الف) ۰٫۵ ب) ۰٫۴ پ) ۰٫۳ ت) ۰٫۲

تمرینها

۱. حلقه‌ای به شعاع $r = ۳\text{cm}$ که حول قطر قائم خود می‌چرخد در یک میدان مغناطیسی با خطوط القای افقی $\left(\alpha = \frac{\pi}{۲}\right)$ و یکنواخت قرار دارد. اگر القای مغناطیسی $B = ۰٫۵\text{T}$ و سرعت چرخش ۵۰ دور در دقیقه باشد

الف) معادلهٔ نیروی محرکه را بنویسید (فرض می‌شود که در مبدأ زمان خطوط القا بر سطح حلقه عمودند).

ب) اگر جنس حلقه از مس و قطر آن یک میلیمتر و مقاومت ویژهٔ آن $\rho = ۱٫۶ \times ۱۰^{-۸}$ اهم‌متر باشد، اندازهٔ شدت مؤثر جریان در حلقه چقدر است؟

پ) توانی که در حلقه به‌صورت گرما تلف می‌شود چند وات است؟

پاسخ: الف) $E = ۷٫۵ \times ۱۰^{-۳} \sin \frac{۵\pi}{۳}t$ ب) $I_e = ۲٫۲ \times ۱۰^{۳}\text{A}$ پ) $P = ۱۱٫۷۲\text{W}$

۲. نشان دهید

الف) یک هانری = یک اهم × ثانیه است.

ب) یک هانری = یک وبر بر آمپر است.

پ) یک هانری = یک ژول بر مجذور آمپر است.

۳. طول سیملوله‌ای یک متر و شامل یک لایه است. شعاع حلقهٔ سیملوله ۵ سانتیمتر است. قطر سیم یک میلیمتر و مقاومت ویژهٔ آن $\rho = ۱۰^{-۶}\Omega\text{m}$ است

الف) مقاومت سیملوله را حساب کنید.

ب) ضریب خودالقای L را پیدا کنید.

پ) اگر جریانی به معادلهٔ $I = ۴\sqrt{۲}\sin ۳۱۴t$ از آن عبور کند، توان تلف‌شده در سیملوله را به‌دست آورید.

پاسخ: الف) $R = ۱٫۲۷\Omega$ ب) $۱۰^{-۶}\text{H}$ پ) $P = ۲۰٫۴۵\text{W}$

۴. ضریب خودالقای سیملوله‌ای که دارای ۴۰۰ حلقه است برابر ۸×۱۰^{-۳} هانری است. اگر شدت جریانی که از آن عبور می‌کند برابر ۵×۱۰^{-۳} آمپر باشد، شار مغناطیسی در سیملوله چند وبر است؟

پاسخ: $\varphi \simeq ۱/۰ \times ۱۰^{-۷}\text{Wb}$

۵. در یک سیملوله با عبور ۱۰A مقدار ۵۰J انرژی ذخیره می‌شود. بزرگی جریان را باید چند برابر کنیم تا ۴۵۰J انرژی در سیملوله ذخیره شود؟

پاسخ: ۳ برابر

۶. در سیملوله‌ای که در هر متر آن ۱۰۰۰ حلقه وجود دارد جریانی به شدت $I = ۳\text{A}$ می‌گذرد. هرگاه طول سیملوله $l = ۵۰\text{cm}$ و شعاع سطح مقطع آن $r = ۲\text{cm}$ باشد، انرژی موجود در فضای درونی سیملوله را به‌دست آورید.

پاسخ: $U \simeq ۳/۵۵ \times ۱۰^{-۴}\text{J}$

۷. ضریب خودالقای القاگری را حساب کنید که با جریان ۵A مقدار ۴ ژول انرژی در خود ذخیره می‌کند.

پاسخ: ۰/۳۲ هانری

۸. می‌دانیم که در یک آلترنانس $(T/۲)$ مقدار متوسط یک تابع سینوسی به معادلهٔ $y = y_m \sin \frac{۲\pi}{T}t$ از رابطهٔ $\bar{y} = ۲y_m/\pi$ به‌دست می‌آید. اگر جریانی به شدت مؤثر ۴/۴۵ آمپر و با بسامد ۵۰Hz از مداری عبور کند، مقدار الکتریسیته‌ای را که در یک آلترنانس از مدار می‌گذرد به‌دست آورید.

پاسخ: $q = ۰/۰۴\text{C}$

۹. در سیملولهٔ بزرگی جریان به‌طور یکنواخت در مدت ۲ ثانیه از صفر به ۱۰ آمپر می‌رسد و نیروی محرکهٔ القایی تولیدشده برابر ۸ ولت است. مطلوب است

الف) ضریب خودالقایی سیم‌پیچ.

ب) انرژی ذخیره‌شده در سیملوله هنگامی‌که شدت جریان ۱۰ آمپر از آن می‌گذرد.

پاسخ: الف) ۱/۶ ولت ب) ۸۰ ژول

۱۰. معادلهٔ جریان متناوبی به‌صورت $I = ۵\sqrt{۲} \sin ۶۲۸t$ است.

الف) دوره، بسامد و شدت مؤثر این جریان را به‌دست آورید.

ب) اگر مقاومت مدار ۱۰ اهم باشد، گرمای ایجادشده در مدت ۷ دقیقه چند کالری است؟ $(۱\text{cal} = ۴/۲\text{J})$

پاسخ: الف) $T = ۰/۰۰۱\text{s}, \nu = ۱۰۰۰\text{Hz}$ و $I_e = ۵\text{A}$ ب) ۲۵۰۰cal

۴

مدارهای جریان متناوب

۴ـ۱ مقدمه

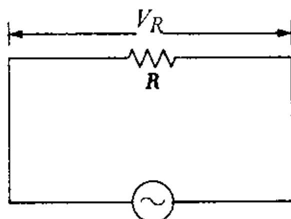
برای روشنایی و دیگر مصرفهای خانگی و شهری از جریان متناوب استفاده می‌شود. از این‌رو لازم است که با اصول و قانونهایی که مربوط به مدارهای جریان متناوب است آشنا شویم. رادیو، تلویزیون، ضبط صوت، زنگ اخبار، اجاق، بخاری، پنکه، کولر دستگاههایی هستند که انرژی آنها به‌وسیلهٔ الکتریسیتهٔ شهری که جریان متناوب است تأمین می‌شود. اگر دستگاهی از جریان مستقیم استفاده کند، با یکسوکننده جریان متناوب را به جریان مستقیم تبدیل می‌کنیم. در این فصل ابتدا به بررسی مدارهایی می‌پردازیم که فقط شامل مقاومت، یا خازن، یا القاگری است که به دو طرف هر یک، نیروی محرکه‌ای برقرار شده است. سپس مدارهایی را بررسی خواهیم کرد که از ترکیب دو جزء یا سه جزءِ بالا تشکیل شده باشند. البته ما فقط به بررسی مدارهای متوالی خواهیم پرداخت. علاوه بر آن ساختمان، طرز کار و چگونگی انتقال انرژی توسط مبدل را نیز شرح خواهیم داد.

۴ـ۲ اثر مقاومت در مدار جریان متناوب

مدار جریان متناوبی را مطابق شکل ۴-۱ درنظر می‌گیریم. این مدار شامل سیم مقاومت‌دار R و یک مولد جریان متناوب (ac) است. می‌دانیم که مولد، جریان سینوسی تولید می‌کند و اختلاف پتانسیل آن با زمان تغییر می‌کند. معادلهٔ آن چنین است

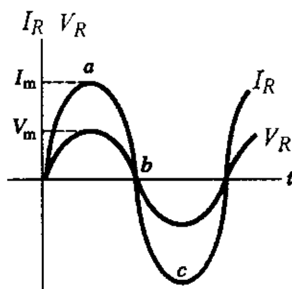
$$V = V_m \sin ۲\pi\nu t$$

در این رابطه V پتانسیل لحظه‌ای و V_m پتانسیل بیشینه‌ای است که مولد تولید می‌کند. ν، بسامد جریان متناوب و برحسب هرتز (Hz) محاسبه می‌شود. در شکل ۴-۱ مولد با نماد ⓒ و مقاومت با نماد ـــ‌ΛΛΛΛـــ نشان داده شده است.



شکل۴-۱

شکل ۴-۲ نمودار اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت و شدت جریانی را که از آن می‌گذرد نشان می‌دهد.



شکل۴-۲

بررسی نمودار جریان نشان می‌دهد که در نقطهٔ a اختلاف پتانسیل و نیز شدت جریان، بیشینهٔ مقدار خود را دارند. بین نقطهٔ a و نقطهٔ b جریان کاهش می‌یابد ولی جهت آن مثبت است. در نقطهٔ b جریان و نیز پتانسیل صفر است و از این پس میان دو نقطهٔ b و c اندازهٔ جریان افزایش می‌یابد ولی جهت آن نسبت به وضع قبلی منفی خواهد بود. در نقطهٔ c مقدار جریان به بیشینهٔ مقدار خود در جهت منفی می‌رسد و از آن پس مقدار جریان در همان جهت منفی کم می‌شود تا به صفر برسد و دورهٔ دیگری را تکرار کند.

توجه داریم که جریان و ولتاژ در کلیهٔ لحظه‌ها باهم زیاد یا کم می‌شوند و به صفر می‌رسند ولی اندازهٔ آنها در هر لحظه متفاوت است.

هرگاه جریان و ولتاژ همزمان به بیشینه یا کمینهٔ مقدار خود برسند، می‌گویند آن دو همفازند.

با توجه به نمودار شکل ۴-۲ ملاحظه می‌شود که مقدار متوسط جریان صفر است زیرا مقدار بار الکتریکی که در نیم‌دوره در جهت مثبت حرکت می‌کند برابر مقدار باری است که در نیم‌دورهٔ بعدی در خلاف جهت حرکت می‌کند. بنابراین مقدار الکتریسیتهٔ جابه‌جا شده در یک دورهٔ کامل صفر است.

تغییر جهت جریان در مقاومت یک سیم اثر ندارد زیرا گرمایی که در یک سیم مقاومت‌دار به‌وجود می‌آید مربوط به برخورد الکترونهای جابه‌جا شده با اتمهای ثابت درون ماده است. بنابراین گرمای

حاصل در سیم مقاومت‌دار با جریان الکتریکی که معرف حرکت الکترونهاست بستگی دارد ولی به جهت جریان بستگی ندارد.

۴ـ۳ توان مصرف‌شده در مقاومت R

مقدار انرژی الکتریکی که در هر ثانیه در یک مقاومت مصرف می‌شود توان مصرفی آن مقاومت نامیده می‌شود. توان که با نماد P نشان داده می‌شود از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$P = \frac{W}{t} = \frac{RI_e^۲ t}{t} = RI_e^۲$$

در این رابطه، I_e، شدت جریان مؤثری است که از مقاومت R می‌گذرد. با توجه به آنکه اثر گرمایی به مجذور شدت جریان بستگی دارد، تغییر جهت جریان و مثبت یا منفی بودن آن در مقدار انرژی گرمایی اثری ندارد. ولی چون مقدار جریان متناوب در لحظه‌های مختلف تفاوت می‌کند، از این‌رو برای محاسبهٔ مقدار توان مصرف‌شده شدت مؤثر جریان را در رابطهٔ توان قرار می‌دهیم.

شدت مؤثر هر جریان متناوب شدت جریان پیوسته‌ای است که اگر به‌جای جریان متناوب از سیم مقاومت‌داری بگذرد، در هر دوره گرمایی برابر جریان متناوب تولید کند. شدت مؤثر از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$I_e = \frac{I_{\max}}{\sqrt{۲}}$$

$I_{\max}$ بیشینهٔ شدت جریان متناوب است. این رابطه نشان می‌دهد که اگر جریان متناوبی که بیشینهٔ آن ۲A است از سیمی بگذرد همان مقدار گرما در هر ثانیه تولید می‌کند که جریان مستقیمی به شدت $\frac{۲}{\sqrt{۲}} = \sqrt{۲}\text{A}$ در هر ثانیه در آن مقاومت تولید می‌کند.

مثال ۱. جریان متناوبی که در SI به‌صورت $I = ۲\sin ۱۵۷t$ است از یک مقاومت ۱۰ اهمی می‌گذرد. معین کنید

الف) دوره، بسامد و بیشینهٔ جریانی را که از مدار می‌گذرد.

ب) بیشینهٔ اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت و انرژی تلف‌شده از آن را در مدت یک دقیقه و چهل ثانیه.

حل: الف) از مقایسهٔ معادلهٔ شدت جریان با حالت کلی آن نتیجه می‌گیریم

$$\begin{matrix} I = I_m \sin \omega t \\ I = ۲\sin ۱۵۷t \end{matrix} \Rightarrow I_m = ۲,\ \ I_e = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \sqrt{۲}\text{A}$$

$$\begin{cases} \omega = ۲\pi\nu \\ \omega = ۱۵۷ \Rightarrow ۲\pi\nu = ۱۵۷,\ \ \nu = \frac{۱۵۷}{۲ \times ۳/۱۴} = ۲۵\text{Hz} \end{cases}$$

$$T = \frac{۱}{\nu} = \frac{۱}{۲۵} = ۰/۰۴\text{s}$$

ب) بیشینهٔ اختلاف پتانسیل برابر است با

$$V_m = I_m R = ۲ \times ۱۰ = ۲۰ \text{ ولت}$$

انرژی تلف‌شده در مقاومت در مدت یک دقیقه و ۴۰ ثانیه برابر است با

$$W = P \cdot t = RI_e^۲ t = ۱۰(\sqrt{۲})^۲ \times ۱۰۰ = ۲۰۰۰ \text{ ژول}$$



اختلاف پتانسیل مؤثر. هنگامی‌که از اختلاف پتانسیل جریان متناوب صحبت می‌کنیم و مثلاً می‌گوییم برق شهر ۲۲۰V است منظور اختلاف پتانسیل مؤثر برق شهر است. اختلاف پتانسیل مؤثر هر جریان متناوب برابر اختلاف پتانسیل جریان مستقیم دو سر مداری است که توان مصرفی آن برابر توان مصرفی جریان متناوب باشد. اگر معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر یک سیم مقاومت‌دار برابر $V = V_m \sin ۲\pi\nu t$ باشد، اختلاف پتانسیل مؤثر که آن‌را با V_e نشان می‌دهند از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = ۰/۷۰۷V_m$$

مثال ۲. مقاومت $R = ۶۰\Omega$ در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی کل ۲۵۰۰cal/°C قرار دارد. این مقاومت را به جریان متناوبی متصل می‌کنیم. پس از سه دقیقه و ۲۰ ثانیه دمای آب ۱۰ درجهٔ سلسیوس افزایش می‌یابد. شدت جریان مؤثر در مدار و اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مقاومت R را به‌دست آورید.

حل: مقاومت R گرما ایجاد می‌کند و گرماسنج گرما را می‌گیرد. در نتیجه می‌توان نوشت

$$RI_e^۲ t = (mc + m'c')(\theta_۲ - \theta_۱)$$

ظرفیت گرمایی ۲۵۰۰cal/°C برابر با $۲۵۰۰ \times ۴/۲ = ۱۰۵۰۰ \text{J/°C}$ است. درنتیجه

$$(mc + m'c') = ۱۰۵۰۰ \text{J/°C}$$

$$۶۰ \times I_e^۲ \times ۲۰۰ = ۱۰۵۰۰ \times ۱۰ \Rightarrow I_e^۲ = \frac{۱۰۵۰۰۰}{۶۰ \times ۲۰۰}$$

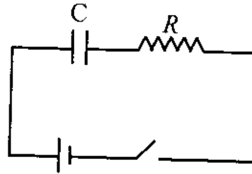
$$I_e \simeq ۲/۹۶\text{A}, \quad V_e = I_e R$$

$$V_e = ۲/۹۶ \times ۶۰ = ۱۷۷/۶۰ \text{ ولت}$$



۴ـ۴ خازن در مدار ac

برای بررسی اثر خازن در یک مدار جریان متناوب ابتدا اثر خازن را در جریان مستقیم، مثلاً جریان یک باتری بررسی می‌کنیم. فرض کنید یک خازن خالی را در مدار جریان مستقیمی مطابق شکل ۴-۳ قرار دهیم و یک لحظه مدار را ببندیم. در این لحظه حرکت بار الکتریکی در مدار بدون مانع شروع و جریان

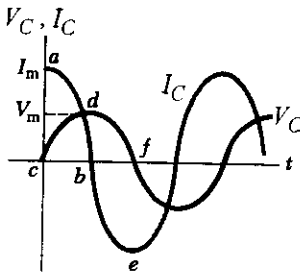


شکل۴-۳

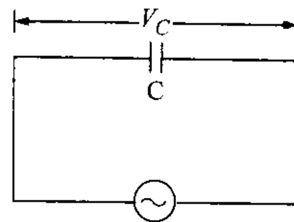
الکتریسیته برقرار می‌شود. این بارها بتدریج در خازن ذخیره می‌شوند و اختلاف پتانسیل دو سر خازن را بالا می‌برند. جریان کاهش می‌یابد تا آنکه پس از مدتی اختلاف پتانسیل دو سر خازن برابر نیروی محرکهٔ مولد شده ($V = \varepsilon$) و جریان صفر می‌شود ($I = ۰$).

از این آزمایش نتیجه می‌شود که خازن در مدار جریان مستقیم، عبور جریان را محدود می‌کند و پس از مدتی آن‌را به صفر می‌رساند.

اکنون فرض کنید که مدار سادهٔ جریان متناوبی مطابق شکل ۴-۴ از یک خازن و یک مولد ac تشکیل شده باشد. در این صورت نمودار اختلاف پتانسیل ـ زمان دو سر خازن و جریانی که از مدار می‌گذرد مطابق شکل ۴-۵ خواهد بود.



شکل ۴-۵



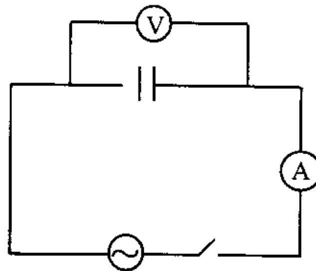
شکل ۴-۴

به‌طوری‌که در نمودار شکل ۴-۵ دیده می‌شود نمودار جریان از نقطهٔ a تا b نزولی است و جریان از بیشینهٔ خود به صفر می‌رسد. در لحظهٔ $t = ۰$ مدار مقاومتی ندارد و جریان بیشترین مقدار را دارد. ولی بتدریج که بارهای الکتریکی روی صفحه‌های خازن ذخیره می‌شود پتانسیل صفحه بالا می‌رود و مقاومتی در برابر عبور جریان به‌وجود می‌آورد. جریان در نقطهٔ b صفر ($I = ۰$) و پتانسیل که از c تا d زیاد می‌شد در نقطهٔ d به بیشینهٔ خود می‌رسد. در نقطهٔ d که ولتاژ دو سر خازن بیشینه است، جریان تغییر جهت می‌دهد به‌طوری‌که از b تا e جریان در خلاف جهت قبلی افزایش می‌یابد. در همین زمان پتانسیل صفحهٔ خازن کاهش می‌یابد زیرا بار آن کم می‌شود تا به صفر برسد. در فاصلهٔ d تا f مانند نیم‌دور اول جهت ولتاژ تغییر می‌کند. در نقطهٔ e جریان در خلاف جهت قبلی به بیشینه می‌رسد. از آن پس جریان در همان جهت کم می‌شود ولی ولتاژ منفی به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود در جریان متناوب ولتاژ و جریان همفاز نیستند. همیشه بیشینهٔ ولتاژ به‌اندازهٔ ربع دوره ($T/۴$) نسبت به بیشینهٔ شدت جریان عقبتر است به‌طوری‌که می‌توان گفت اختلاف پتانسیل دو سر خازن همواره ۹۰° نسبت به شدت جریانی که از آن می‌گذرد تأخیر فاز دارد.

مقاومت خازنی. هرگاه مداری مطابق شکل ۴-۶ تشکیل دهیم و اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر خازن یعنی V_e و جریانی راکه از آن می‌گذرد (I_e) اندازه بگیریم، آزمایش نشان می‌دهد که نسبت $\frac{V_e}{I_e}$ همواره برای یک خازن مشخص مقدار ثابتی است، به‌طوری‌که می‌توان نوشت

$$\frac{V_e}{I_e} = X_C$$



شکل۴-۶

در رابطهٔ بالا X_C را مقاومت خازنی[1] یا راکتانس خازنی می‌نامند و مقدار آن از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$X_C = \frac{۱}{۲\pi\nu C}$$

در این رابطه C ظرفیت خازن و ν بسامد جریان است.

مثال ۳. دو سر خازنی به ظرفیت $\frac{۱۶}{\pi}\mu F$ را به دو انتهای مولد جریان متناوبی به اختلاف پتانسیل مؤثر $۲۵۰ V$ و بسامد $۵۰ Hz$ متصل می‌کنیم.

الف) مقاومت ظرفیتی خازن را به‌دست آورید.

ب) چه جریانی از خازن می‌گذرد؟

پ) بیشینهٔ انرژی ذخیره‌شده در خازن چند ژول است؟

حل: الف)

$$X_C = \frac{۱}{C\omega} = \frac{۱}{\frac{۱۶}{\pi} \times ۱۰^{-۶} \times ۲ \times ۳/۱۴ \times ۵۰} = ۶۲۵\Omega$$

1- capacitive reactance

ب) شدت جریان برابر است با

$$I_e = \frac{V_e}{X_C} = \frac{۲۵۰}{۶۲۵} = ۰/۴\text{A}$$

پ) انرژی ذخیره‌شده برابر است با

$$W_m = \frac{۱}{۲}CV_m^۲$$
$$= \frac{۱}{۲} \times \frac{۱۶}{\pi} \times ۱۰^{-۶}(۲۵۰\sqrt{۲})^۲ = \frac{۱}{\pi} \simeq ۰/۳۱۸\text{J}$$

▲

مثال ۴. اگر معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر خازن به ظرفیت $۱۶\mu\text{F}$ به‌صورت $V = ۱۵۰\sqrt{۲}\sin ۲۰۰t$ باشد، معادلهٔ شدت جریان در خازن را بنویسید.

حل:

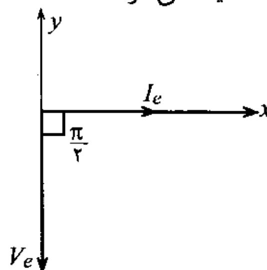
$$X_C = \frac{۱}{C\omega} = \frac{۱}{۱۶ \times ۱۰^{-۶} \times ۲۰۰} = ۳۱۲/۵\Omega$$
$$I_m = \frac{V_m}{X_C} = \frac{۱۵۰\sqrt{۲}}{۳۱۲/۵} \simeq ۰/۶۷۹\text{A}$$

درنتیجه

$$I = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{۲}\right)$$
$$= ۰/۶۷۹ \sin\left(۲۰۰t + \frac{\pi}{۲}\right)$$

▲

فازنما. با توجه به آنکه معادلهٔ اختلاف پتانسیل نسبت به معادلهٔ شدت جریان $\frac{\pi}{۲}$ تأخیر فاز دارد، اگر معادلهٔ شدت جریان به‌صورت $I = I_m \sin\omega t$ باشد، معادلهٔ اختلاف پتانسیل به‌صورت $V = V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{۲}\right)$ خواهد بود. می‌توان این معادلات را به‌صورت دو بردار عمود برهم مطابق شکل ۴-۷ نشان داد که نمودار فازنما[1] نامیده می‌شود.



شکل ۴-۷

1- phasor diagram

۴ـ۵ القاگر در مدار ac

فرض کنید مدار جریان متناوبی فقط شامل مولد ac و القاگری مطابق شکل ۴-۸ باشد. برای تهیهٔ القاگر معمولاً سیمها را به شکل سیملوله درمی‌آورند و در این‌صورت سیملوله مقاومت هم خواهد داشت که اگر سیم باریک نباشد مقاومت ناچیز است و از آن می‌توان صرفنظر کرد.

هرگاه در چنین مداری جریان متناوب برقرار شود در سیملوله نیروی محرکهٔ خودالقایی به‌وجود می‌آید که اختلاف پتانسیل آن از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

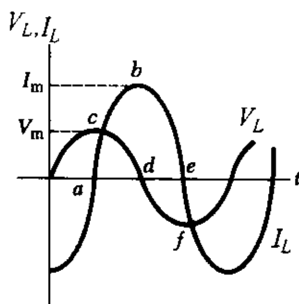
$$V_L = L\frac{dI}{dt}$$

در این رابطه L را ضریب خودالقا می‌نامند.

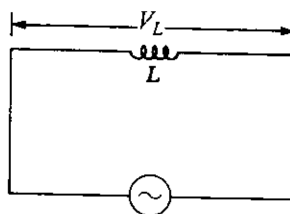
نیروی محرکهٔ خودالقایی در برابر عبور جریان از خود مقاومتی تولید می‌کند که آن را مقاومت القایی[1] می‌نامند و با X_L نشان می‌دهند. مقاومت القایی از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$X_L = ۲\pi\nu L$$

X_L مقاومت القایی برحسب اهم و ν، بسامد برحسب هرتز و L برحسب هانری است. رابطهٔ بالا نشان می‌دهد که مقاومت القایی با بسامد جریان و ضریب خودالقایی القاگر نسبت مستقیم دارد.



شکل ۴-۹



شکل ۴-۸

رابطهٔ شدت جریان و اختلاف پتانسیل. هرگاه جریانی به معادلهٔ $I = I_m \sin\omega t$ از القاگری بگذرد، معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر القاگر به‌صورت زیر خواهد بود

$$V = L\frac{dI}{dt} = LI_m\omega\cos\omega t$$

به‌جای $\cos\omega t$ می‌توان $\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{۲}\right)$ را قرار داد. بنابراین داریم

$$V = L\omega I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{۲}\right)$$

1- inductive reactance

بیشینهٔ اختلاف پتانسیل برابر است

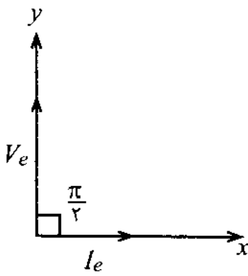
$$V_m = L\omega I_m$$

نسبت $\frac{V_e}{I_e} = \frac{V_m}{I_m}$ برابر $L\omega$ است که آن‌را با X_L نشان می‌دهیم. پس

$$X_L = L\omega$$

با استفاده از رابطه‌های بالا می‌توان به این نتیجه رسید که القاگر سبب می‌شود تا اختلاف پتانسیل نسبت به شدت جریان به‌اندازهٔ $\frac{\pi}{2}$ تقدم فاز داشته باشد. شکل ۴-۹ نمودار $V-t$ و نمودار $I-t$ را در روی یک دستگاه مختصات نشان می‌دهد. به‌طوری‌که در شکل ۴-۹ دیده می‌شود در نقطهٔ a که جریان صفر است اختلاف پتانسیل در نقطهٔ c در همان لحظه در بیشینهٔ مقدار خود قرار دارد. در نقطهٔ d ولتاژ صفر و در همان لحظه جریان در نقطهٔ b بیشینه است.

فازنما. اگر مطابق شکل ۴-۱۰ جریان مؤثر را با بردار افقی I_e روی محور xها نشان دهیم، بردار V_e که $\frac{\pi}{2}$ از آن جلوتر است روی محور yها معرف اختلاف پتانسیل مؤثر خواهد بود. با این نمودار می‌توان اختلاف فاز میان اختلاف پتانسیل و جریان را نمایش داد.



شکل ۴-۱۰

مثال ۵. مقاومت القایی سیملوله‌ای که ضریب خودالقای آن $L = ۲/۵$ میلی‌هانری و بسامد جریان الکتریسیتهٔ گذشته از آن $\nu = ۵۰\,\text{Hz}$ باشد، چقدر است؟ هرگاه شدت جریان مؤثری که از سیملوله عبور می‌کند ۴ آمپر باشد اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر آن‌را حساب کنید.

حل: رابطهٔ مقاومت القایی را می‌نویسیم

$$X_L = L\omega$$

$$X_L = ۲\pi\nu L = ۲ \times ۳/۱۴ \times ۵۰ \times ۲/۵ \times ۱۰^{-۳} = ۰/۷۸۵\Omega$$

$$V_e = I_e X_L = ۵ \times ۰/۷۸۵ = ۳/۹۲ \text{ ولت}$$



مثال ۶. القاگر $L = ۰/۸\text{H}$ که مقاومت اهمی آن ناچیز است در مدار جریان متناوبی با بسامد ۵۰ هرتز قرار دارد و بیشینهٔ ولتاژ دو سر آن ۲۵۱/۲ ولت است. مطلوب است

الف) مقاومت القایی.

ب) معادلهٔ شدت جریان در مدار (فاز اولیهٔ اختلاف پتانسیل صفر است).

حل: الف) مقاومت القایی برابر است با

$$X_L = L\omega = ۲\pi\nu L = ۲ \times ۳/۱۴ \times ۵۰ \times ۰/۸ = ۲۵۱/۲\Omega$$

$$V_m = I_m \times X_L \Rightarrow I_m = \frac{V_m}{X_L} = \frac{۲۵۱/۲}{۲۵۱/۲} = ۱\text{A}$$

ب) می‌دانیم شدت جریان دو سر القاگر بدون مقاومت نسبت به اختلاف پتانسیل $\frac{\pi}{۲}$ رادیان تأخیر فاز دارد، در نتیجه

$$V = V_m \sin \omega t$$

$$I = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{۲}\right) = I_m \sin\left(۱۰۰\pi t - \frac{\pi}{۲}\right)$$

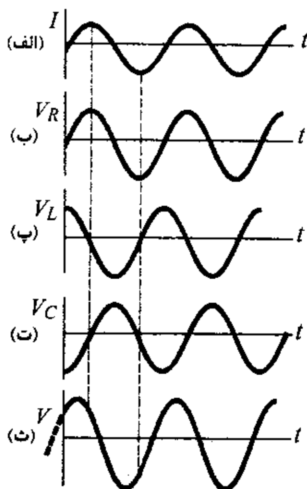
▲

۴ـ۶ مدار متوالی RLC

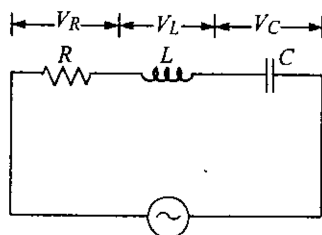
در بخشهای پیش اثر سیم مقاومت‌دار R، خازن C و القاگر L را جداگانه بررسی کردیم. در این بخش می‌خواهیم اثر ترکیب آنها را در مدار بررسی کنیم.

شکل ۴-۱۱ مداری را نشان می‌دهد که شامل مقاومت R، القاگر L، خازن C و مولد جریان متناوب است. جریانی که از این مدار می‌گذرد سینوسی است و در شکل ۴-۱۲ با نمودار (الف) نشان داده شده است. معادلهٔ این جریان به‌صورت زیر است

$$I = I_m \sin \omega t$$



شکل ۴-۱۲



شکل ۴-۱۱

در بخشهای پیش گفتیم که اختلاف پتانسیل هر جزء می‌تواند با جریان همفاز یا غیرهمفاز باشد. در شکل ۴-۱۲ اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت با نمودار (ب)، دو سر القاگر با نمودار (پ) و دو سر

خازن با نمودار (ت) نشان داده شده است. اختلاف فاز اختلاف پتانسیل لحظه‌ای دو سر هر یک از اجزا که در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده با شدت جریان لحظه‌ای به‌صورت زیر است

۱. اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت، V_R، با شدت جریان لحظه‌ای همفاز است (شکل ۴-۱۲ ب).

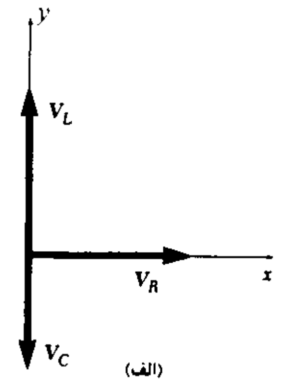
۲. اختلاف پتانسیل دو سر القاگر، V_L، نسبت به شدت جریان °۹۰ تقدم فاز دارد (شکل ۴-۱۲ پ).

۳. اختلاف پتانسیل دو سر خازن، V_C، نسبت به شدت جریان °۹۰ تأخیر فاز دارد (شکل ۴-۱۲ ت).

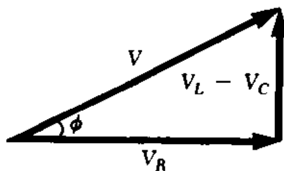
اختلاف پتانسیل لحظه‌ای دو سر مدار در هر لحظه برابر مجموع اختلاف پتانسیل لحظه‌ای دو سر هر جزء مدار است یعنی

$$V = V_R + V_C + V_L$$

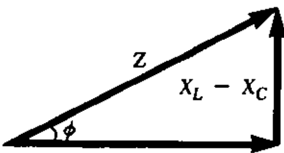
اختلاف پتانسیل دو سر مدار با نمودار شکل ۴-۱۲ ث نشان داده شده است. می‌توان اختلاف فاز میان اختلاف پتانسیل و شدت جریان را با استفاده از فازنما نشان داد. در شکل ۴-۱۳ فازنمای یک مدار RLC نشان داده شده است. در این شکل اختلاف پتانسیل هر جزء با یک بردار نشان داده شده است. زاویه‌ای که بردار اختلاف پتانسیل با جهت مثبت محور xها می‌سازد اختلاف فاز میان اختلاف پتانسیل و شدت جریان برای همان جزء است. در این شکل ملاحظه می‌شود که V_R افقی و در امتداد محور x هاست در صورتی‌که V_L در جهت مثبت محور y و V_C در جهت منفی آن محور است.



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۴-۱۳

جمع دو بردار V_L و V_C که در یک امتدادند برابر $V_L - V_C$ است و جمع بردار V_R با $V_L - V_C$ مطابق شکل ۴-۱۳ ب برابر است با

$$V = \sqrt{V_R^۲ + (V_L - V_C)^۲}$$

زاویه‌ای که بردار V با جهت مثبت محور xها می‌سازد همان اختلاف فاز میان اختلاف پتانسیل دو سر مدار با شدت جریان است که اندازهٔ آن از رابطه‌های زیر به‌دست می‌آید

$$\tan\varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R} \quad ، \quad \cos\varphi = \frac{V_R}{V}$$

$$\sin\varphi = \frac{V_L - V_C}{V}$$

در این رابطه‌ها اختلاف پتانسیل هر جزء یا کل مدار اختلاف پتانسیل مؤثر است.

در شکل ۴-۱۳ (پ) مقاومت ظاهری یا امپدانس[1] مدار که نسبت V_e بر I_e است و آن‌را با Z نشان می‌دهند دیده می‌شود. مقدار Z برابر است با

$$Z = \frac{V_e}{I_e}\,, \qquad Z = \sqrt{R^۲ + (X_L - X_C)^۲}$$

$$\tan\varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R}\,, \qquad \tan\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

در جدول ۴-۱ اجزای مدار و مقاومت و اختلاف فاز بین I و V نوشته شده است.

جدول ۴-۱

جزء مدار	مقاومت	اختلاف فاز
مقاومت	R	۰
خازن	$X_C = \frac{۱}{۲\pi\nu C}$	-۹۰°
القاگر	$X_L = ۲L\pi\nu$	$+۹۰^\circ$
مقاومت و خازن	$\sqrt{R^۲ + X_C^۲}$	منفی بین صفر و -۹۰°
مقاومت و القاگر	$\sqrt{R^۲ + X_L^۲}$	مثبت بین صفر و $+۹۰^\circ$
مقاومت، خازن و القاگر	$\sqrt{R^۲ + (X_L - X_C)^۲}$	اگر $X_L > X_C$ باشد منفی اگر $X_L < X_C$ باشد مثبت اگر $X_L = X_C$ باشد صفر

مثال ۷. مداری شامل یک لامپ ($L = ۰$ و $R = ۳۰۰\Omega$)، یک القاگر ($L = \frac{۲}{\pi}$H و $R = ۰$) و خازنی به ظرفیت $C = \frac{۲۰}{\pi}\mu$F است که به‌طور متوالی به اختلاف پتانسیل $V = ۱۲۰\sqrt{۲}\sin ۱۰۰\pi t$ متصل‌اند.

الف) شدت جریان مؤثر در مدار و اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل را به‌دست آورید.

ب) اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر هر یک از قسمتهای مدار را به‌دست آورید و معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر هر قسمت را بنویسید.

1- impedance

حل: الف) مقاومت القایی و ظرفیتی خازن برابر است با

$$X_L = L\omega = \frac{۲}{\pi} \times ۱۰۰\pi = ۲۰۰\Omega$$

$$X_C = \frac{۱}{C\omega} = \frac{۱}{\frac{۲۰}{\pi} \times ۱۰۰\pi \times ۱۰^{-۶}} = ۵۰۰\Omega$$

مقاومت ظاهری مدار برابر است با

$$Z = \sqrt{R^۲ + (X_L - X_C)^۲} = \sqrt{۳۰۰^۲ + (۲۰۰ - ۵۰۰)^۲} = ۳۰۰\sqrt{۲}\Omega$$

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۲۰\sqrt{۲}}{\sqrt{۲}} = ۱۲۰ \text{ ولت}$$

$$I_e = \frac{V_e}{Z} = \frac{۱۲۰}{۳۰۰\sqrt{۲}} = ۰/۲\sqrt{۲}\text{A}\,, \qquad I_m = ۰/۲\text{A}$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{۳۰۰}{۳۰۰\sqrt{۲}} = \frac{\sqrt{۲}}{۲}\,, \qquad \varphi = \frac{\pi}{۴}$$

$$V_R = I_e R = ۰/۲\sqrt{۲} \times ۳۰۰ = ۶۰\sqrt{۲}\text{V} \,،\, V_{m_R} = ۱۲۰ \text{ ولت}$$

$$V_C = I_e X_e = ۰/۲\sqrt{۲} \times ۵۰۰ = ۱۰۰\sqrt{۲}\text{V} \,،\, V_{m_C} = ۲۰۰ \text{ ولت}$$

$$V_L = I_e X_L = ۰/۲\sqrt{۲} \times ۲۰۰ = ۴۰\sqrt{۲}\text{V} \,،\, V_{m_L} = ۸۰ \text{ ولت}$$

برای معادلهٔ شدت جریانی که از مدار عبور می‌کند داریم

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

$$I = ۰/۲ \sin\left(۱۰۰\pi t + \frac{\pi}{۴}\right)$$

چون مقاومت خازن بیشتر از مقاومت القاگر است در نتیجه شدت جریان به‌اندازهٔ $\varphi = \frac{\pi}{۴}$ تقدم فاز دارد.

ب) معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت عبارت است از

$$V = ۱۲۰ \sin\left(۱۰۰\pi t + \frac{\pi}{۴}\right)$$

زیرا در مقاومت، بین شدت جریان و پتانسیل اختلاف فازی وجود ندارد.

معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر خودالقا عبارت است از

$$V = ۸۰ \sin\left(۱۰۰\pi t + \frac{\pi}{۴} + \frac{\pi}{۲}\right) = ۸۰ \sin\left(۱۰۰\pi t + \frac{۳\pi}{۴}\right)$$

زیرا اختلاف پتانسیل در القاگر به‌اندازهٔ $\varphi = \frac{\pi}{۲}$ نسبت به شدت جریان تقدم فاز دارد.

برای معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر خازن داریم

$$V = ۲۰۰ \sin\left(۱۰۰\pi t + \frac{\pi}{۴} - \frac{\pi}{۲}\right) = ۲۰۰ \sin\left(۱۰۰\pi t - \frac{\pi}{۴}\right)$$

زیرا اختلاف پتانسیل دو سر خازن به‌اندازهٔ $\varphi = \frac{\pi}{۲}$ نسبت به شدت جریان تأخیر فاز دارد. ▲

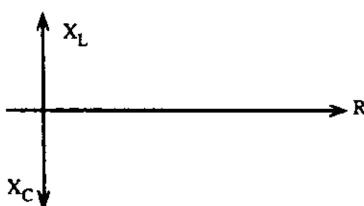
۷ـ۴ مدار متوالی RLC در حالت تشدید

هرگاه در یک مدار RLC جریان بیشینه باشد، گفته می‌شود که آن مدار در حالت تشدید[1] است. در حالت کلی شدت جریان در این مدار از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\sqrt{R^۲ + (X_L - X_C)^۲}}$$

وقتی جریان بیشینه است که مقاومت ظاهری مدار کمینه باشد. فازنما به‌صورت شکل ۴-۱۴ است و خواهیم داشت

$$Z = R \quad و \quad \varphi = ۰$$



شکل۴-۱۴

معادله‌های لحظه‌ای شدت جریان و اختلاف پتانسیل عبارت‌اند از

$$V = V_m \sin \omega t \quad و \quad I = I_m \sin \omega t$$

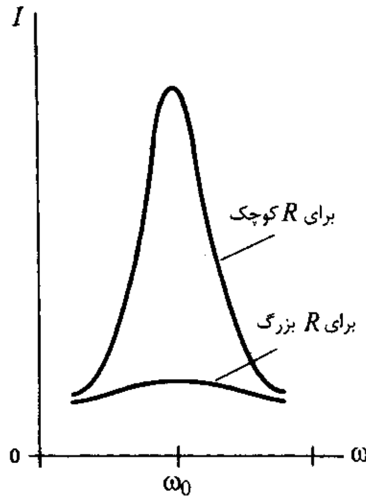
به عبارت دیگر بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل، اختلاف فازی وجود ندارد. در حالتی‌که $X_L = X_C$ باشد داریم $L\omega = ۱/C\omega$. پس در تشدید داریم $\omega = \omega_۰ = \sqrt{۱/LC}$. در موقع تشدید شدت جریان در مدار به بیشینهٔ مقدار خود می‌رسد، شکل ۴-۱۵.

برای تشدید در مدار می‌توان ضریب خودالقا (با تغییر جای هسته در القاگر)، ظرفیت خازن یا بسامد جریان را تغییر داد.

۸ـ۴ ویژگیهای مدار در حالت تشدید

۱. مقاومت القایی و مقاومت ظرفیتی باهم برابرند، $X_L = X_C$.
۲. اختلاف پتانسیل دو سر خازن و خودالقا باهم برابرند، $V_C = V_L$.
۳. مقاومت ظاهری مدار و مقاومت حقیقی مدار باهم برابرند، $Z = R$.
۴. اختلاف پتانسیل دو سر مدار و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت باهم برابرند، $V_e = V_R$.
۵. بین اختلاف پتانسیل و شدت جریان اختلاف فازی وجود ندارد، $\varphi = ۰$.
۶. خازن اثر خودالقا را خنثی می‌کند، $\tan \varphi = ۰$.

1- resonance



شکل ۴-۱۵

۷. ضریب توان در مدار برابر یک است، $\cos\varphi = ۱$.

۸. مقاومت مدار کمینه است.

۹. شدت جریان در مدار بیشینه است.

۱۰. توان مصرف‌شده در مدار بیشینه است، $P = RI_e^۲$.

۱۱. توان ظاهری مدار $P = V_e I_e$ و توان حقیقی (مصرفی) مدار $P = V_e I_e \cos\varphi$ باهم برابرند.

۱۲. بسامد دورهٔ جریان متناوب در حالت تشدید برابر است با

$$X_L = X_C \Rightarrow L\omega = \frac{۱}{C\omega} \Rightarrow LC\omega^۲ = ۱$$

$$LC(۲\pi\nu)^۲ = ۱ \Rightarrow \frac{۴\pi^۲}{T^۲}LC = ۱$$

$$T = ۲\pi\sqrt{LC} \quad \text{و} \quad \nu = \frac{۱}{۲\pi\sqrt{LC}}$$

مثال ۸. نشان دهید که جذر حاصلضرب ضریب خودالقا در ظرفیت خازن از بعد زمان است.

حل: با کمک یکای هر کمیت می‌توان نتیجه گرفت

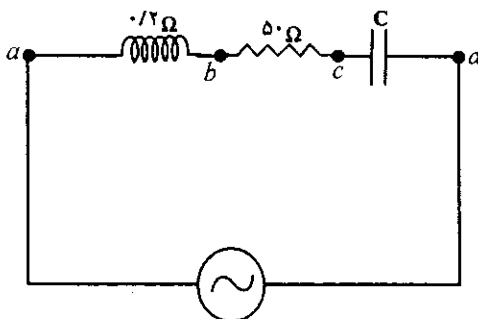
$$T = ۲\pi\sqrt{LC}$$

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\text{کولن}}{\text{ولت}} = \frac{\text{آمپر.ثانیه}}{\text{ولت}}$$

$$E = -L\frac{dI}{dt} \Rightarrow L = \frac{\text{ولت.ثانیه}}{\text{آمپر}} \Rightarrow T = \sqrt{\frac{\text{ولت.ثانیه}}{\text{آمپر}} \cdot \frac{\text{آمپر.ثانیه}}{\text{ولت}}} = \sqrt{(\text{ثانیه})^۲} = \text{ثانیه}$$

▲

مثال ۹. در مدار شکل ۴-۱۶، $V_{ac} = V_{bd}$ است. اگر بسامد جریان ۵۰Hz باشد ظرفیت خازن را حساب کنید.



شکل۴-۱۶

حل:

$$\begin{aligned} V_{ac} &= V_{ab} + V_{bc} \\ V_{bd} &= V_{bc} + V_{cd} \end{aligned} \Rightarrow V_{ab} = V_{cd} \Rightarrow X_L = X_C$$

$$L\omega = \frac{۱}{C\omega} \Rightarrow LC\omega^۲ = ۱ \Rightarrow ۴\pi^۲\nu^۲LC = ۱$$

هرگاه $\pi^۲ \simeq ۱۰$ فرض شود، داریم

$$C = \frac{۱}{۴\pi^۲\nu^۲L} = \frac{۱}{۴ \times ۱۰(۵۰)^۲ \times ۰/۴} = \frac{۱}{۴ \times ۱۰^۴} = ۰/۲۵ \times ۱۰^{-۴}\,\mathrm{F}$$

$$= ۲۵\mu\mathrm{F}$$

▲

مثال ۱۰. در مدار RC یک القاگر را با چه مقاومتی به‌طور متوالی قرار دهیم تا شدت جریان در مدار تغییر نکند؟

حل: برای آنکه شدت جریان در مدار تغییر نکند باید مقاومت ظاهری در دو حالت RC و RLC برابر باشد. یعنی $Z = Z'$ پس می‌توان نوشت

$$Z = \sqrt{R^۲ + X_C^۲}$$

$$Z' = \sqrt{R^۲ + (X_L - X_C)^۲}$$

$$R^۲ + X_C^۲ = R^۲ + X_L^۲ + X_C^۲ - ۲X_LX_C$$

$$X_L^۲ = ۲X_LX_C \Rightarrow X_L = ۲X_C$$

به عبارت دیگر باید مقاومت القاگر دو برابر مقاومت ظرفیتی خازن باشد. یعنی

$$L\omega = \frac{۲}{C\omega} \Rightarrow LC\omega^{۲} = ۲$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر در مدار RLC القاگر را حذف کنیم شدت مؤثر جریان در مدار تغییر نمی‌کند.



مثال ۱۱. در مدار RL یک خازن را با چه ظرفیتی به‌طور متوالی قرار دهیم تا شدت جریان در مدار تغییر نکند؟

حل: وقتی شدت جریان در مدار RL و RLC یکسان است که مقاومت ظاهری مدار RL و مدار RLC برابر باشد، یعنی

$$Z = Z'$$

$$Z = \sqrt{R^{۲} + X_L^{۲}}$$

$$Z' = \sqrt{R^{۲} + (X_L - X_C)^{۲}}$$

$$R^{۲} + X_L^{۲} = R^{۲} + X_L^{۲} + X_C^{۲} - ۲X_L X_C$$

$$X_C^{۲} = ۲X_L X_C \Rightarrow X_C = ۲X_L$$

بنابراین مقاومت ظرفیتی خازن باید دوبرابر مقاومت القاگر باشد، پس

$$\frac{۱}{C\omega} = ۲L\omega \Rightarrow LC\omega^{۲} = \frac{۱}{۲}$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر در مدار RLC خازن را حذف کنیم شدت مؤثر جریان در مدار تغییر نمی‌کند.



۴ـ۹ ویژگیهای جریان با بسامد زیاد

جریانهای با بسامد زیاد[1] (پربسامد) به جریانهایی گفته می‌شود که بسامد آنها از ۱۰^۵Hz بیشتر باشد. طبیعت جریان با بسامد زیاد با جریان با بسامد کم (مانند برق شهر با بسامد ۵۰Hz) اختلافی ندارد.

۱. تعریف شدت جریان مؤثر (I_e)، و اختلاف پتانسیل مؤثر (V_e)، مقاومت ظاهری (Z) و توان متوسط (P) در جریانهای با بسامد زیاد مشابه تعریف در جریان با بسامد کم است.

۲. چون این جریانها از یک رسانای فلزی عبور کنند، الکترونهای آزاد رسانا در هر دو حالت با همان بسامد و با دامنهٔ کم به نوسان درمی‌آیند و رسانا را گرم می‌کنند.

1- high frequency

تفاوتی که در جریانهای با بسامدِ زیاد نسبت به جریان با بسامد کم به‌وجود می‌آید به واسطهٔ تغییرات بسیار سریع شدت جریان لحظه‌ای است که خواص ویژه‌ای به جریان با بسامد زیاد می‌دهد. به‌طور مختصر پاره‌ای از این خواص را بررسی می‌کنیم.

۴ـ۱۰ اثر خازن بر جریان متناوب با بسامد زیاد

مقاومت خازن در جریان متناوب برابر است با

$$Z = X_C = \frac{۱}{C\omega} = \frac{۱}{۲\pi\nu C}$$

این رابطه نشان می‌دهد که مقاومت خازن با بسامد نسبت عکس دارد و در نتیجه مقاومت خازن در جریان متناوب با بسامد زیاد بسیارکم است.

مثال ۱۲. خازنی به ظرفیت ۰٫۰۱ میکروفاراد را به جریان متناوبی با بسامد $۱۰^{۸}$ هرتز متصل می‌کنیم. مقاومت خازن چند اهم است؟ نتیجه را با مقاومت خازن در جریان متناوب برق شهر مقایسه کنید.

حل: مقاومت خازن را با هر دو بسامد $۱۰^{۸}$ هرتز و ۵۰Hz برق شهر حساب می‌کنیم

$$Z = \frac{۱}{۲\pi\nu C} = \frac{۱}{۲ \times ۳٫۱۴ \times ۱۰^{۸} \times ۰٫۰۱ \times ۱۰^{-۶}} = \frac{۱}{۶٫۲۸}$$

$$\simeq ۰٫۱۶\ \Omega$$

$$Z' = \frac{۱}{۲\pi\nu' C} = \frac{۱}{۲ \times ۳٫۱۴ \times ۵۰ \times ۰٫۰۱ \times ۱۰^{-۶}} = \frac{۱۰^{۶}}{۳٫۱۴}$$

$$\simeq ۳۱۸۴۷۱\ \Omega$$

در نتیجه

$$\frac{Z'}{Z} = \frac{۳۱۸۴۷۱}{۰٫۱۶} \simeq ۱۹۹۰۴۴۳ \simeq ۲ \times ۱۰^{۶}$$

▲

۴ـ۱۱ اثر خودالقا بر جریان با بسامد زیاد

اندازهٔ مقاومت ظاهری خودالقا با توجه به رابطهٔ $Z = \sqrt{R^۲ + L^۲\omega^۲}$ به سه عامل R (مقاومت حقیقی)، L (ضریب خودالقای سیملوله) و ω (بسامد زاویه‌ای جریان) بستگی دارد. چون $\omega = ۲\pi\nu C$ است، با افزایش بسامد جریان متناوب مقدار $L^۲\omega^۲$ برای جریانهای با بسامد زیاد آنقدر بزرگ می‌شود که می‌توان مقدار $R^۲$ را در مقابل آن ناچیز درنظر گرفت و در نتیجه مقدار مقاومت ظاهری مدار عملاً متناسب با بسامد جریان خواهد بود. در نتیجه می‌توان نوشت

$$Z = \sqrt{R^۲ + L^۲\omega^۲} \simeq ۲\pi\nu L$$

به عبارت دیگر سیملوله‌ای با چند دور سیم کلفت مسی که مقاومت حقیقی آن (R) ناچیز باشد در مقابل جریان متناوب با بسامد زیاد دارای مقاومت بسیار زیادی خواهد بود.

مثال ۱۳. سیملوله‌ای با مقاومت ۱۰Ω و ضریب خودالقای $۱۰^{-۲}$ هانری را به جریان متناوبی با بسامد $۱۰^{۶}$ هرتز می‌بندیم. مقاومت سیملوله را در این مدار پیدا کنید.

حل: رابطهٔ مقاومت ظاهری خودالقا را می‌نویسیم

$$Z = \sqrt{R^۲ + L^۲\omega^۲} = \sqrt{R^۲ + ۴\pi^۲\nu^۲L^۲}$$

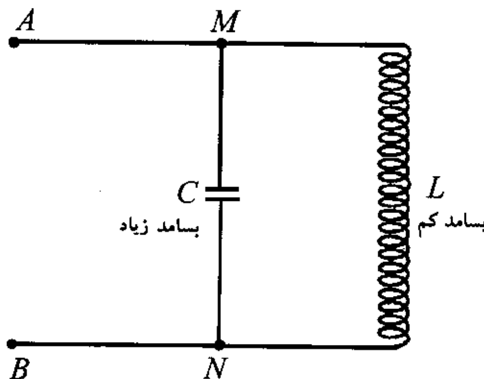
$$= \sqrt{۱۰۰ + ۴(۳/۱۴)^۲ \times ۱۰^{-۴} \times ۱۰^{۱۲}} = \sqrt{۱۰۰ + ۳۹/۴۳۸۴ \times ۱۰^{۸}}$$

با صرفنظر کردن از مقدار R نتیجه می‌گیریم

$$Z \simeq ۶۲۸۰۰\Omega$$

▲

هرگاه در مداری جریان با بسامد کم و جریان با بسامد زیاد باهم تولید شوند و بخواهیم آنها را از یکدیگر جدا کنیم مطابق شکل ۴-۱۷ مداری شامل یک خودالقا و خازن را که به‌طور موازی به‌هم بسته شده‌اند به مدار جریان متناوب وصل می‌کنیم. جریان با بسامد کم و با بسامد زیاد در مسیر AM و BN وجود دارد. این دو جریان در نقاط M و N از هم جدا می‌شوند. جریان با بسامد کم از خودالقای L می‌گذرد ولی جریان با بسامد کم نمی‌تواند از خازن C عبور کند زیرا مقاومت خازن $X_C = \frac{۱}{۲\pi\nu C}$ بسیار زیاد است. جریان با بسامد زیاد عملاً از مداری که شامل خازن C است عبور می‌کند. جریان با بسامد زیاد نمی‌تواند از خودالقای L عبور کند زیرا مقاومت خودالقا $X_L = ۲\pi\nu L$ و مقاومت القایی سیملوله بسیار زیاد است.



شکل ۴-۱۷

خلاصهٔ فصل

برای روشنایی شهرها از جریان متناوب استفاده می‌کنیم. در دستگاههایی که جریان مستقیم به‌کار

می‌برند از یکسوکننده استفاده می‌شود. در این فصل به بررسی مدارهایی پرداختیم که شامل هر یک از اجزای مقاومت، خازن و القاگر است یا آنکه دارای دو جزء یاهر سه جزء به‌ترتیب زیر تشکیل شده است.

۱. اگر مدار فقط شامل سیم مقاومت‌دار R باشد، اختلاف پتانسیل و جریان همفازند، یعنی هر دو همزمان به بیشینه، صفر و کمینه می‌رسند.

۲. اگر مدار شامل خازن C باشد، اختلاف پتانسیل به‌اندازهٔ $\frac{\pi}{2}$ از جریان عقبتر است و مدار دارای مقاومت ظرفیتی برابر $X_C = 1/C\omega$ است.

۳. اگر مدار شامل القاگر L باشد، اختلاف پتانسیل به‌اندازهٔ $\frac{\pi}{2}$ از جریان جلوتر است و مدار دارای مقاومت القایی برابر $X_L = L\omega$ است.

۴. اگر مدار شامل RLC باشد، مقاومت ظاهری و اختلاف فاز از رابطه‌های زیر به‌دست می‌آیند

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{و} \quad \tan\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

چنانچه در یک مدار القاگر و خازن اثر یکدیگر را خنثی کنند، شدت جریان در آن مدار بیشینه خواهد شد و گفته می‌شود که مدار در حالت تشدید است. در حالت تشدید رابطه‌های زیر برقرار است

$$X_L = X_C, \qquad L\omega = \frac{1}{C\omega}, \qquad LC\omega^2 = 1$$

توان مصرفی در جریان متناوب از رابطه‌های زیر به‌دست می‌آید

$$P = RI_e^2 = V_e I_e \frac{R}{Z} = V_e I_e \cos\varphi$$

$\cos\varphi$ را ضریب توان می‌نامند. ضریب توان بین یک و صفر است و مقدار آن برابر $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ است.

حاصلضرب $V_e I_e$ را توان ظاهری مدار می‌نامند.

هدفهای آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- اثر هر یک از اجزای مقاومت R، القاگر L و خازن C را در مدار جریان متناوب شرح دهید.
- تفاوت دو مدار RC و RL را از یکدیگر تشخیص دهید.
- روابط انرژی الکتریکی خازن و انرژی الکتریکی القاگر را پیدا کنید و تفاوت آنها را بیان کنید.
- علت اختلاف فاز در مدار جریان متناوب را توضیح دهید.
- مقاومت ظاهری مدارهای RC و RL و RLC را با رسم توجیه کنید.
- تشدید در مدار جریان متناوب را شرح دهید و چند ویژگی مهم آن‌را بیان کنید.
- چگونگی افزایش مقاومت القایی را در مدار RC یا مقاومت ظرفیتی را در مدار RL به‌طریقی که شدت جریان در مدار تغییر نکند بیان و رابطه‌های مربوط را پیدا کنید.
- خواص جریان متناوب با بسامد زیاد را بیان کنید.

- تفاوتهای جریان متناوب با بسامد زیاد و جریان متناوب با بسامد کم را ذکر کنید.
- چگونگی ایجاد نیروی الکترومغناطیسی را شرح دهید.
- مدار نوسانگر و ویژگیهای آن را توضیح دهید.

خود را بیازمایید

پرسشها

۱. نقش مقاومت، القاگر و خازن را در مدار جریان متناوب توضیح دهید.

۲. نقش ضریب توان در مدار جریان متناوب را توضیح دهید. آیا در مدار جریان پیوسته ضریب توان مفهومی دارد؟

۳. روابط مقاومت ظاهری مدار جریان متناوب را در حالتهای زیر بنویسید

الف) مدار شامل مقاومت R و القاگر L به‌طور متوالی است.

ب) مدار شامل مقاومت R و خازن C به‌طور متوالی است.

پ) مدار شامل مقاومت R، خازن C و القاگر L به‌طور متوالی است.

در هر یک از حالتهای بالا اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل چیست؟

۴. ضریب توان در خازن C و خودالقای L وقتی از آن جریان متناوب می‌گذرد چیست؟

۵. دو سر یک سیملوله با مقاومت R را به جریان متناوب وصل می‌کنیم و از آن شدت مؤثر I_e عبور می‌دهیم. هرگاه یک هستهٔ آهنی بتدریج وارد سیملوله شود، کمیتهای زیر چگونه تغییر می‌کنند؟
شدت مؤثر، اختلاف فاز φ، توان مؤثر، ضریب خودالقا، ضریب توان و مقاومت ظاهری مدار.

۶. لامپ و خازن متغیری از ۱ تا ۱۰۰ میکروفاراد را به‌طور متوالی به‌هم می‌بندیم و به دو سر مدار شبکهٔ برق شهر متصل می‌کنیم. هرگاه ظرفیت خازن بتدریج زیاد شود، کمیتهای زیر چگونه تغییر می‌کند؟
مقاومت ظاهری، شدت مؤثر جریان، اختلاف فاز φ، ضریب توان، مقاومت خازن و توان مؤثر.

۷. در مداری که شامل مقاومت R و خازن C و القاگر L به‌طور متوالی است آیا اختلاف پتانسیل کل دو سر مدار برابر مجموع اختلاف پتانسیلهای دو سر هر یک از اجزای مدار است؟ چه رابطه‌ای بین آنها برقرار است؟

۸. چه شرایطی باید در مدار جریان متناوب RLC برقرار باشد تا

الف) در مدار تشدید ایجاد شود.

ب) با حذف خازن از مدار شدت جریان مؤثر تغییر نکند.

پ) با حذف القاگر توان مصرفی تغییر نکند.

۹. برای آنکه توان مصرفی در مدار جریان متناوب RLC کمتر شود، کدام روش قابل پذیرش است و چرا؟
الف) مقاومت مدار را کم کنیم.
ب) ظرفیت خازن را کم کنیم.
پ) سیملولهٔ بدون مقاومت به‌کار بریم که ضریب خودالقای آن کم باشد.
۱۰. در یک مدار نوسانگر بدون مقاومت، دوره و بسامد از چه رابطه‌هایی به‌دست می‌آیند؟ هرگاه در مدار نوسانگر مقاومت R را به‌طور متوالی قرار دهیم و بتدریج مقدار آن‌را زیاد کنیم چه نتایجی به‌دست می‌آید؟
۱۱. یک فنر مرتعش در حالت قائم را که به آن وزنه‌ای به جرم m بسته شده است بامدار نوسانگر LC از نظر انرژی و دوره مقایسه کنید.
۱۲. شدت جریان بیشینه که از یک مدار نوسانگر LC و بدون مقاومت عبور می‌کند از چه رابطه‌هایی به‌دست می‌آید؟ این رابطه‌ها را پیدا کنید.
۱۳. چه تمایزها و تشابه‌هایی بین جریان با بسامد زیاد و جریان با بسامد کم وجود دارد؟
۱۴. چرا به هنگام عبور جریان متناوب با بسامد زیاد در یک رسانای فلزی، جریان فقط از رویهٔ آن عبور می‌کند؟
۱۵. در یک مدار نوسانگر RLC اگر مقاومت مدار گیرنده نسبتاً زیاد باشد آیا در مدار نوسانهای الکتریکی به‌وجود می‌آید؟
۱۶. نشان دهید که بعد $1/\mu_0\varepsilon_0$ برابر بعد سرعت است.
۱۷. با مقایسهٔ دو رابطهٔ دورهٔ فنر مرتعش $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$، و دورهٔ جریان متناوب $T = 2\pi\sqrt{LC}$ جرم وزنه m و ضریب سختی فنر k نقش کدام کمیت را در دورهٔ جریان متناوب دارند؟

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. مقاومت ظرفیتی خازن با بسامد جریان الکتریکی ... و مقاومت القایی القاگر ... .
الف) نسبت عکس داشته، با آن متناسب است
ب) نسبت عکس داشته، نیز با آن نسبت عکس دارد
پ) متناسب بوده، با آن نسبت عکس دارد
ت) متناسب بوده، نیز با آن متناسب است
۲. در مدار جریان متناوب RLC هرگاه اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر اجزای آن $V_R = 3\text{V}$، $V_C = 12\text{V}$ و $V_L = 16\text{V}$ باشد، ضریب توان در مدار کدام است؟
الف) ۰٫۴ ب) ۱ پ) ۰٫۶ ت) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

۳. در دو سر یک القاگر بدون مقاومت اهمی، اختلاف پتانسیل متناوبی به معادلهٔ

$$V = V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{۶}\right)$$

برقرار است. معادلهٔ شدت جریان آن کدام است؟

الف) $I = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{۲}\right)$ ب) $I = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{۳}\right)$

پ) $I = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{۲}\right)$ ت) $I = I_m \sin\left(\omega t + \frac{۲\pi}{۳}\right)$

۴. از یک خازن جریان متناوبی عبور می‌کند. هرگاه ظرفیت خازن را کم کنیم، مقاومت ظرفیتی و اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان به‌ترتیب چگونه تغییر می‌کنند؟

الف) زیاد می‌شود، ثابت می‌ماند. ب) هر دو زیاد می‌شوند.

پ) کم می‌شود، ثابت می‌ماند. ت) هر دو کم می‌شوند.

۵. به دو سر خازنی به ظرفیت ۸۰ میکروفاراد اختلاف پتانسیل متناوبی با بسامد زاویه‌ای ۱۰۰۰ رادیان بر ثانیه و بیشینهٔ پتانسیل ۵۰ ولت بسته شده است. بیشینهٔ جریان در خازن چند آمپر است؟

الف) ۲٫۴ ب) ۳ پ) ۳٫۶ ت) ۴

۶. خازن در جریان متناوب

الف) انرژی را فقط در میدان مغناطیسی ذخیره می‌کند.

ب) انرژی را فقط در میدان الکتریکی ذخیره می‌کند.

پ) انرژی را فقط به‌صورت گرما تلف می‌کند.

ت) انرژی را هم به‌صورت گرما تلف می‌کند و هم در میدان مغناطیسی ذخیره می‌کند.

۷. اختلاف پتانسیل بیشینهٔ دو سر خازن و القاگر و مقاومت در یک مدار به‌ترتیب ۲۰۰ و ۲۰۰ و ۱۰۰ ولت است. اگر مقاومت برابر ۲۰۰Ω باشد، شدت جریان بیشینه و اختلاف پتانسیل بیشینهٔ دو سر مدار به‌ترتیب برابر است با

الف) ۱۰۰ و ۱ ب) ۵۰۰ و ۰٫۵ پ) ۵۰۰ و ۱ ت) ۱۰۰ و ۰٫۵

۸. بعد اختلاف پتانسیل کدام است؟

الف) $ML^{۲}T^{-۳}A^{-۱}$ ب) $ML^{۲}T^{-۲}A^{-۲}$

پ) $MLT^{-۲}A$ ت) $M^{۲}L^{۲}T^{-۲}A^{-۲}$

۹. ضریب توان سیملوله‌ای به مقاومت $R = ۲۰\Omega$ و $X_L = ۱۵\Omega$ وقتی در مدار جریان متناوبی قرار گیرد چقدر است؟

الف) ۰٫۶ ب) ۰٫۲ پ) ۱ ت) ۰٫۸

۱۰. دو سر القاگری را یک‌بار به اختلاف پتانسیل ثابت ۸۰V و بار دیگر به اختلاف پتانسیل ۱۶۰V می‌بندیم. در هر دو حالت شدت جریان ۵A می‌شود. در حالت دوم اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل چند رادیان است؟

الف) $\frac{\pi}{۶}$ ب) $\frac{\pi}{۴}$ پ) $\frac{\pi}{۳}$ ت) $\frac{\pi}{۲}$

۱۱. در مدار RL، نسبت توان حقیقی به توان ظاهری چه نام دارد؟

الف) امپدانس　　ب) بازده

پ) ضریب توان　　ت) مقاومت حقیقی

۱۲. در مدار RL، توان مصرفی P است. با حذف خودالقای L توان مصرفی چه تغییری می‌کند؟

الف) کم می‌شود　　ب) صفر می‌شود　　پ) تغییر نمی‌کند　　ت) زیاد می‌شود

۱۳. در یک مدار RLC که به دو سر یک مولد جریان متناوب متصل است، اگر ظرفیت خازن و نیز ضریب خودالقا دوبرابر شود دوره (T) چند برابر خواهد شد؟

الف) دو برابر　　ب) چهار برابر　　پ) تغییر نمی‌کند　　ت) نصف می‌شود

۱۴. به دو سر خازنی اختلاف پتانسیل $V = ۳۰۰\sqrt{۲}\sin ۱۰۰t$ متصل است. هرگاه شدت جریان بیشینه در مدار $۳\sqrt{۲}$ باشد، ظرفیت خازن چند میکروفاراد است؟

الف) ۱۲۰　　ب) ۱۰۰　　پ) ۶۰　　ت) ۵۰

۱۵. از مدار RL که به دو سر مولد جریان متناوبی متصل است جریان I_e می‌گذرد. هرگاه خازنی به مدار به‌طور متوالی اضافه شود به‌طوری‌که $X_C < X_L$ باشد جریان I'_e از مدار می‌گذرد. رابطهٔ I_e و I'_e کدام است؟

الف) $I'_e > I_e$　　ب) $I'_e = \frac{۱}{۲}I_e$　　پ) $I'_e < I_e$　　ت) $I'_e = I_e$

۱۶. در یک مدار جریان متناوب، اختلاف پتانسیل و شدت جریان همفازند. کدامیک از کمیتهای زیر الزاماً بیشینه است؟

الف) توان مصرفی　　ب) اختلاف پتانسیل دو سر مدار

پ) مقاومت ظاهری مدار　　ت) اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان

۱۷. در مداری القاگر خالصی با $L = ۰{,}۰۲\text{H}$ وجود دارد. اگر معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر القاگر در SI به‌صورت $V = ۲۰\sqrt{۲}\sin\left(۵۰t - \frac{\pi}{۲}\right)$ فرض شود، معادلهٔ شدت جریان در این دستگاه کدام است؟

الف) $۲\sqrt{۲}\sin\left(۵۰t - \frac{\pi}{۲}\right)$　　ب) $۲۰\sin(۵۰t - \pi)$

پ) $۲۰\sqrt{۲}\sin ۵۰t$　　ت) $۲۰\sqrt{۲}\sin(۵۰t - \pi)$

۱۸. جریان متناوب سینوسی در یک مقاومت حقیقی ۵ اهمی در هر دقیقه ۲٫۴ کیلوژول انرژی تلف می‌کند. بیشینهٔ شدت جریان چند آمپر است؟

الف) ۲　　ب) $۲\sqrt{۲}$　　پ) ۴　　ت) $۴\sqrt{۲}$

۱۹. هرگاه یک هستهٔ آهنی را بتدریج داخل سیملوله‌ای که به جریان متناوب متصل است وارد کنیم، شدت جریان مؤثر و اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل چگونه تغییر می‌کند؟ (مقاومت سیملوله ناچیز است)

الف) I_e و φ هر دو زیاد می‌شوند.　　ب) I_e کم و φ ثابت می‌ماند.

پ) I_e و φ هر دو کم می‌شوند.　　ت) I_e ثابت و φ زیاد می‌شود.

۲۰. کدامیک از گزینه‌های زیر درست است؟

الف) مقاومت ظاهری خودالقا با افزایش دورهٔ جریان کم می‌شود.

ب) مقاومت ظاهری خازن با افزایش دورهٔ جریان کم می‌شود.

پ) مقاومت ظاهری خازن با افزایش ظرفیت آن زیاد می‌شود.

ت) مقاومت ظاهری خودالقا با وارد کردن هستهٔ آهنی به داخل آن کم می‌شود.

۲۱. از دو سیملوله کاملاً مشابه در دو مدار، جریانهای پیوسته و متناوبی می‌گذرند به‌طوری‌که مقدار شدت جریان پیوسته با شدت جریان بیشینهٔ جریان متناوب برابر است. نسبت گرمای ایجادشده در سیملولهٔ با جریان متناوب به سیملولهٔ با جریان پیوسته چقدر است؟

الف) $\sqrt{۲}$ ب) $\frac{۱}{۲}$ پ) $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$ ت) ۲

۲۲. بین دو سر خازن متغیری ولتاژ متناوبی برقرار شده است. اگر ظرفیت خازن را تغییر دهیم، اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل . . . .

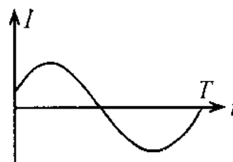
الف) بتدریج کم می‌شود. ب) به‌سرعت کم می‌شود.

پ) زیاد می‌شود. ت) ثابت می‌ماند.

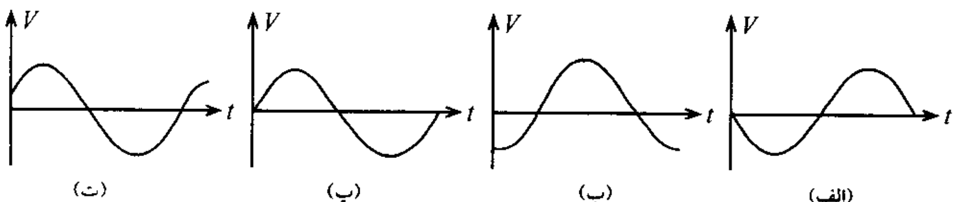
۲۳. اگر در یک مدار نوسان‌کنندهٔ LC ظرفیت خازن را نصف و ضریب خودالقای سیملوله را ۸ برابر کنیم، بسامد نوسانها چند برابر می‌شود؟

الف) ۲ ب) ۴ پ) $\frac{۱}{۲}$ ت) $\frac{۱}{۴}$

۲۴. شکل ۴-۱۸ نمودار تغییرات شدت جریان در یک القاگر آرمانی را نسبت به زمان نشان می‌دهد. نمودار اختلاف پتانسیل ـ زمان این القاگر کدام است؟



شکل ۴-۱۸



۲۵. در مدار جریان متناوبی یک سلف، یک خازن و یک مقاومت ۱۰ اهمی به‌طور متوالی قرار دارند. اگر معادله‌های اختلاف پتانسیل دو سر مدار و شدت جریان در SI به‌ترتیب $V = ۱۲۰\sqrt{۲}\sin\left(۵۰\sqrt{۳}t + \frac{\pi}{۴}\right)$ و $I = I_m \sin ۵۰\sqrt{۳}t$ باشند، توان مدار چند وات است؟

الف) ۷۲۰ ب) ۳۶۰ پ) $۷۲۰\sqrt{۲}$ ت) $۳۶۰\sqrt{۲}$

۲۶. در یک مدار RLC اختلاف پتانسیل نسبت به شدت جریان تقدم فاز دارد. هرگاه ظرفیت خازن در مدار کم شود $(X_L > X_C)$ شدت جریان در مدار

الف) کم می‌شود. ب) زیاد می‌شود.

پ) ابتدا زیاد و سپس کم می‌شود. ت) ابتدا کم و سپس زیاد می‌شود.

۲۷. ضریب توان در یک القاگر آرمانی (مقاومت اهمی صفر است) برابر است با

الف) ۰/۵ ب) ۱ پ) بینهایت ت) صفر

۲۸. ضریب توان برای مدار جریان متناوبی که از یک مقاومت R، سیملولهٔ بدون مقاومت با ضریب خودالقایی L و یک خازن به ظرفیت C تشکیل شده برابر $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$ است. اگر ضریب خودالقایی سیملوله را دوبرابر و ظرفیت خازن را نصف کنیم، ضریب توان مدار چقدر می‌شود؟

الف) ۱ ب) $\frac{۱}{۲}$ پ) $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$ ت) $\frac{\sqrt{۵}}{۵}$

۲۹. شرط تشدید در مدار جریان متناوب آن است که

الف) مقاومت حقیقی در مدار نباشد.

ب) ظرفیت خازن برابر ضریب خودالقایی سلف باشد.

پ) مقاومت ظرفیتی خازن برابر مقاومت القایی سلف باشد.

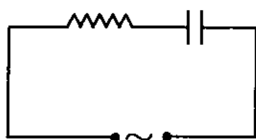
ت) سلف دارای مقاومت حقیقی نباشد.

۳۰. از یک سیم‌پیچ واقعی جریان متناوب سینوسی می‌گذرد. اگر مقاومت حقیقی سیم‌پیچ با مقاومت القایی آن برابر باشد، شدت جریان سیم‌پیچ نسبت به اختلاف پتانسیل دو سر آن ... دارد.

الف) $\frac{\pi}{۲}$ تقدم فاز ب) $\frac{\pi}{۴}$ تقدم فاز پ) $\frac{\pi}{۲}$ تأخیر فاز ت) $\frac{\pi}{۴}$ تأخیر فاز

۳۱. در مدار شکل ۴-۱۹، اگر اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مقاومت R و دو سر خازن C هر یک ۵۰ ولت باشد، اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مدار تقریباً چند ولت است؟

الف) ۲۲۰ ب) ۱۰۰ پ) ۵۰ ت) ۷۰



شکل ۴-۱۹

۳۲. معادلهٔ شدت جریان و پتانسیل دو سر مداری به‌ترتیب برابر است با $I = ۴\sin\left(۲\pi\nu t - \frac{\pi}{۳}\right)$ و $V = ۴۰۰ \sin ۲\pi\nu t$. مقاومت این مدار چند اهم است؟

الف) ۵۰ ب) $۵۰\sqrt{۳}$ پ) $\frac{۱۰۰\sqrt{۳}}{۳}$ ت) ۱۰۰

۳۳. مقاومت R و خازن C را به‌طور متوالی به اختلاف پتانسیل V متصل کرده‌ایم. با افزایش ظرفیت خازن

الف) شدت جریان مؤثر زیاد می‌شود.

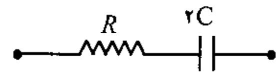
ب) شدت جریان مؤثر کم می‌شود.

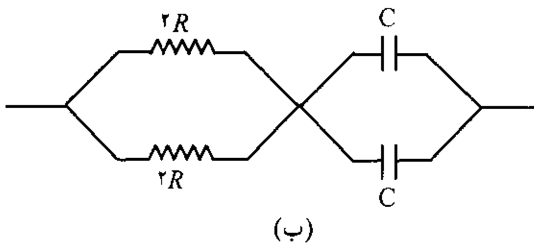
پ) شدت جریان مؤثر تغییر نمی‌کند.

ت) شدت جریان ممکن است کم یا زیاد شود.

۳۴. در یک مدار جریان متناوب با بسامد معین، مقاومت ظاهری شکلهای ۴-۲۰ الف و ب به‌ترتیب برابر $Z_۱$ و $Z_۲$ است. نسبت $Z_۲/Z_۱$ برابر است با

الف) $\frac{۱}{۲}$ ب) ۱ پ) $\frac{۳}{۲}$ ت) ۲





(الف) (ب)

شکل ۴-۲۰

۳۵. خازنی به ظرفیت $\frac{۱}{\pi}$ میکروفاراد با سیمهای بدون مقاومت به شبکهٔ برق شهر ($\nu = ۵۰\,\mathrm{Hz}$ و $V_e = ۲۲۰\,\mathrm{V}$) متصل است. شدت جریان مؤثر در مدار خازن چند آمپر است؟

الف) $۲/۲ \times ۱۰^{-۴}$ ب) $۲/۲ \times ۱۰^{-۳}$

پ) $۲/۲ \times ۱۰^{-۲}$ ت) $۲/۲ \times ۱۰^{-۱}$

۳۶. در یک مدار جریان متناوب شامل سیملوله مقاومت‌دار با ضریب خودالقایی $\frac{۲}{\pi^۲}$ هانری و خازنی با ظرفیت $۱۲/۵\mu\mathrm{F}$ که به‌طور متوالی بسته شده‌اند، بسامد جریان باید چند هرتز باشد تا شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار همفاز باشند؟

الف) ۱۰۰ ب) ۶۰ پ) ۵۰ ت) ۱۰

۳۷. اگر معادلهٔ شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مداری در SI به‌ترتیب به‌صورت $I = ۵ \sin ۱۰۰\pi t$ و $V = ۲۰ \sin\left(۱۰۰\pi t - \frac{\pi}{۳}\right)$ باشد، توان مصرفی این مدار چند وات است؟

الف) ۲۵ ب) $۲۵\sqrt{۲}$ پ) ۵۰ ت) $۵۰\sqrt{۲}$

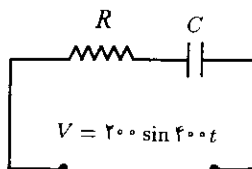
تمرینها

۱. مداری مطابق شکل ۴-۲۱ دارای یک مقاومت ۲۰ اهمی و خازن C است.

الف) هرگاه اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر خازن ۱۰۰ ولت باشد، مطلوب است ظرفیت خازن و معادلهٔ شدت جریان.

ب) القاگری با ضریب خودالقایی L را به‌طور متوالی در مدار اضافه می‌کنیم. شدت جریان در مدار تغییر نمی‌کند. مطلوب است ضریب خودالقا و معادلهٔ شدت جریان در این حالت.

پ) چه خودالقایی باید اضافه کنیم تا شدت جریان و اختلاف پتانسیل همفاز شوند؟ در این‌صورت معادلهٔ شدت جریان و ضریب خودالقای L را پیدا کنید.



شکل ۴-۲۱

پاسخ: الف) $C = ۱۲۵\mu F$ و $I = ۵\sqrt{۲}\sin\left(۴۰۰t + \frac{\pi}{۴}\right)$

ب) $L = ۰/۱H$ و $I = ۵\sqrt{۲}\sin\left(۴۰۰t - \frac{\pi}{۴}\right)$

پ) $L = \frac{۱}{۲۰}H$ و $I = ۱۰\sin ۴۰۰t$

۲. سیملوله‌ای با ضریب خودالقای $L = ۱H$ را به برق شهر با بسامد ۵۰Hz و ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل می‌کنیم.

الف) مقاومت خودالقا را به‌دست آورید.

ب) شدت جریان مؤثر چند آمپر است؟

پاسخ: الف) $X_L = ۳۱۴\Omega$ ب) $I_e = ۰/۷A$

۳. مداری شامل مقاومت ۲۰۰ اهم، سیملوله‌ای به مقاومت $R' = ۱۰۰\Omega$، ضریب خودالقایی $L = ۰/۵H$ و خازن متغیر C است. دو سر مدار به ولتاژ $V = ۲۱۰\sin ۲۰۰t$ متصل است.

الف) با تغییر ظرفیت خازن متغیر شدت جریان را در مدار به حداکثر رسانده‌ایم. مطلوب است توان مصرفی مدار، معادلهٔ شدت جریان در مدار و ظرفیت خازن در این حالت.

ب) معادلهٔ ولتاژ دو سر سیملوله و دو سر خازن و دو سر مقاومت ($\sqrt{۲} = ۱/۴$).

پاسخ: الف) $I = \frac{\sqrt{۲}}{۲}\sin ۲۰۰t$، $P = ۷۵W$، $C = ۵۰\mu F$

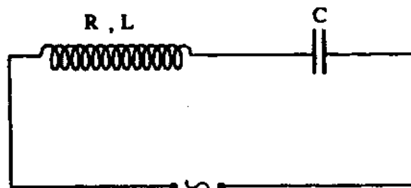
ب) $V_L = ۱۰۰\sin\left(۲۰۰t + \frac{\pi}{۴}\right)$، $V_C = ۵۰\sqrt{۲}\sin\left(۲۰۰t - \frac{\pi}{۲}\right)$، $V_R = ۱۰۰\sqrt{۲}\sin ۲۰۰t$

۴. سیملوله‌ای به مقاومت ۴۰ اهم و ضریب خودالقای L را با خازن $C = \frac{۱}{۹}\mu F$ به‌طور متوالی به جریان متناوبی به معادلهٔ $V = ۱۲۰\sqrt{۲}\sin ۳۰۰t$ متصل می‌کنیم.
الف) ضریب خودالقای L را چنان تعیین کنید که ضریب توان برابر یک شود.
ب) توان مصرف‌شده در مدار در حالت تشدید چند وات است؟
پ) اختلاف پتانسیل دو سر سیملوله، خازن و دو سر مدار را پیدا کنید.
پاسخ: الف) $L = ۰/۱H$ ب) $P = ۳۶۰W$ پ) $V_L = ۱۵۰V$، $V_C = ۹۰V$، $V_e = ۱۲۰V$

۵. مداری شامل مقاومت حقیقی ۱۰۰Ω و القاگر $L = ۱H$ (سیملولهٔ بدون مقاومت) را به‌طور متوالی بین دو نقطهٔ مداری که معادلهٔ اختلاف پتانسیل $V = ۲۰۰\sqrt{۲}\sin ۳۰۰t$ است بسته‌ایم.
الف) معادلهٔ ولتاژ دو سر القاگر را به‌دست آورید.
ب) خازنی با ظرفیت C را به‌طور متوالی به القاگر و مقاومت متصل می‌کنیم. مقدار C باید چقدر باشد تا شدت جریان در مدار تغییر نکند؟
پاسخ: الف) $V = ۲۰۰\sin\left(۲۰۰t - \frac{\pi}{۴}\right)$ ب) $C = ۵۰\mu F$

۶. مدار RLC با این مشخصات را درنظر می‌گیریم، $R = ۵۰\Omega$، $L = ۱H$ و $C = ۲۵\mu F$.
الف) به‌ازای چه دورهٔ تناوبی دستگاه به تشدید درمی‌آید؟
ب) هرگاه دو سر مدار به اختلاف پتانسیل $V = ۱۰۰\sqrt{۲}\sin\left(۲۰۰t + \frac{\pi}{۴}\right)$ متصل باشد، توان مصرفی مدار را پیدا کنید.
پ) معادلهٔ شدت جریان را بنویسید.
پاسخ: الف) $\nu = \frac{۱۰۰}{\pi}Hz$ ب) $P = ۵۰۰W$ پ) $I = ۵\sqrt{۲}\sin\left(۲۰۰t + \frac{\pi}{۴}\right)$

۷. در مدار شکل ۴-۲۲ اختلاف پتانسیل دو سر مدار نسبت به شدت جریان $\frac{\pi}{۳}$ تأخیر فاز دارد. اختلاف پتانسیل دو سر القاگر نسبت به شدت جریان $\frac{\pi}{۶}$ تقدم فاز دارد. ثابت کنید که در این‌صورت رابطهٔ $۲LC\omega^۲ = ۱$ برقرار است.



شکل ۴-۲۲

۸. جریان متناوبی به معادلهٔ $V = ۲۰۰\sin ۴۰۰t$ را به دو سر مداری که شامل مقاومت R و خازن $۱۲۵\mu F$ است می‌بندیم. هرگاه اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت $۱۰۰V$ باشد،

الف) شدت جریان مؤثر و مقاومت R را پیدا کنید و معادلهٔ شدت جریان را بنویسید.
ب) ضریب خودالقایی القاگر بدون مقاومتی را پیدا کنید که اگر به‌طور متوالی در مدار قرار گیرد شدت مؤثر مدار تغییر نکند.
پ) القاگر بدون مقاومتی را با چه اندازه و چگونه باید در مدار قرار دهیم تا توان مصرفی در مدار بیشینه شود. مقدار آن‌را پیدا کنید.

پاسخ: الف) $I_e = ۵\text{A}$ و $R = ۲۰\Omega$ و $I = ۵\sqrt{۲}\sin\left(۴۰۰t + \frac{\pi}{۴}\right)$
ب) $L = ۱\text{H}$ پ) $L = ۰/۰۵\text{H}$ و $P = ۱۰۰۰\text{W}$

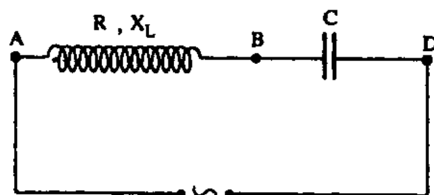
۹. حداکثر ظرفیت خازن متغیری ۳۵pF است. ضریب خودالقایی یک سیملوله چه اندازه باشد تا بسامد مدار LC برابر $۵/۵ \times ۱۰^۵\text{Hz}$ شود. اگر حداکثر بسامد در این مدار $۱/۵۵ \times ۱۰^۶\text{Hz}$ باشد، کمترین ظرفیت خازن چقدر باید باشد تا این بسامد را ایجاد کند؟

پاسخ: $L = ۰/۰۰۲\text{H}$ و $C = ۴/۴\text{pF}$

۱۰. ظرفیت خازنی را حساب کنید که با القاگری با ضریب خودالقایی $\frac{۴}{\pi}$ هانری در مدار جریان متناوب با بسامد ۵۰ هرتز تشدید ایجاد کند؟

پاسخ: $\frac{۲۵}{\pi}$ میکروفاراد

۱۱. در شکل ۴-۲۳ خازن C و سیملولهٔ AB به مدار جریان متناوبی بسته شده‌اند. شدت مؤثر جریان در مدار $۰/۲\text{A}$ و اختلاف پتانسیل مؤثر قسمتهای مختلف برابر است با $V_{BD} = ۵۶\text{V}$ و $V_{AB} = ۱۶۰\text{V}$، $V_{AD} = ۱۲۰\text{V}$.



شکل ۴-۲۳

الف) مقاومت ظاهری سیملوله و مقاومت ظاهری دو سر مدار و مقاومت ظرفیتی خازن را پیدا کنید.
ب) اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار را پیدا کنید.
پ) معادله‌های اختلاف پتانسیل دو سر خازن، دو سر سیملوله و دو سر مدار را بنویسید، در صورتی‌که بدانیم در لحظهٔ $t = ۰$ مقدار $I = ۰$ و بسامد جریان ۵۰Hz است.

پاسخ: الف) $Z_L = ۸۰۰\Omega$، $Z = ۶۰۰\Omega$ و $X_C = ۲۸۰\Omega$
ب) $\varphi = \frac{\pi}{۵}\text{rad}$ پ) $V_C = ۵۶\sqrt{۲}\sin\left(۱۰۰\pi t - \frac{\pi}{۲}\right)$، $V = ۱۲۰\sqrt{۲}\sin\left(۱۰۰\pi t - \frac{\pi}{۵}\right)$
و $V_L = ۱۶۰\sqrt{۲}\sin\left(۱۰۰\pi t - \frac{۳\pi}{۱۰}\right)$

۱۲. در یک نوسانگر LC ضریب خودالقای سیملوله $۱mH$ و بسامد جریان $۱MHz$ است. ظرفیت خازن را پیدا کنید.

پاسخ: $C = ۲۵ \times ۱۰^{-۱۱}F$

۱۳. مداری شامل یک القاگر به مقاومت R و خودالقای L و یک خازن با مقاومت ظرفیتی ۶۰Ω است که به‌طور متوالی به‌هم بسته شده‌اند. جریان متناوبی به شدت مؤثر $۲A$ عبور می‌کند و در مبدأ زمان شدت جریان صفر است.

الف) اگر اختلاف پتانسیل دو سر القاگر به‌صورت $V = ۱۲۰ \sin\left(۳۰۰t + \frac{\pi}{۲}\right)$ باشد، مقاومت R و ضریب خودالقایی L را به‌دست آورید.

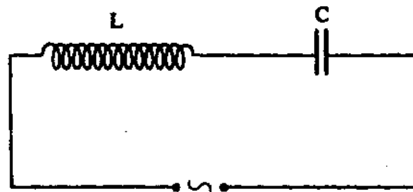
ب) معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر مدار را بنویسید.

پ) چه خازنی و چگونه در مدار اضافه کنیم تا شدت مؤثر جریان بیشینه شود؟

پاسخ: الف) $R = ۳۰\Omega$ و $L = ۰/۱H$ ب) $V = ۱۲۰ \sin\left(۳۰۰t - \frac{\pi}{۴}\right)$

پ) خازن با ظرفیت $\frac{۱۲۵۰}{۹}$ میکروفاراد و به‌طور متوالی.

۱۴. مداری مطابق شکل ۴-۲۴ از یک القاگر بدون مقاومت L و خازنی با ظرفیت C تشکیل شده است. معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر مدار در هر لحظه به‌صورت $V = ۲۵۰\sqrt{۲}\sin ۴۰۰t$ و شدت مؤثر جریان در مدار $۱۰A$ است. یک ولت‌سنج اختلاف پتانسیل دو سر القاگر را ۴۰۰ ولت نشان می‌دهد.



شکل۴-۲۴

الف) ضریب خودالقایی القاگر و اختلاف پتانسیل دو سر خازن و ضریب توان مدار را پیدا کنید.

ب) معادلهٔ شدت جریان مدار را بنویسید، در صورتی‌که بدانیم اثر خودالقا بیشتر است.

پ) ظرفیت خازن چند میکروفاراد است؟

پاسخ: الف) $L = ۰/۱H$، $V_C = ۱۵۰V$ و $\cos\varphi = ۰$

ب) $I = ۱۰\sqrt{۲}\sin\left(۴۰۰t - \frac{\pi}{۲}\right)$ پ) $C = \frac{۵۰۰}{۳}\mu F$

۱۵. در یک مدار نوسانگر خازنی به ظرفیت $۲۵ \times ۱۰^{-۸}F$ قرار گرفته است. ضریب خودالقایی سیملوله را چه اندازه انتخاب کنیم تا بسامد مدار یک مگاهرتز باشد؟

پاسخ: $L \simeq ۰/۱\mu H$

۱۶. در یک مدار نوسانگر LC ضریب خودالقایی القاگری یک میلی‌هانری و ظرفیت خازن ۴ میکروفاراد و بار بیشینهٔ خازن ۳ میکروکولن است. بیشینهٔ شدت جریانی که از این نوسانگر عبور می‌کند چند آمپر است؟

پاسخ: $I = ۴۷\text{mA}$

۱۷. مدار نوسانگری از یک خازن با ظرفیت $۴\mu\text{F}$ و یک سیملوله با ضریب خودالقایی $۴\mu\text{H}$ تشکیل شده است.

الف) دورهٔ نوسانهای این نوسانگر را پیدا کنید.

ب) اگر اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مدار ۱۰ ولت باشد، بار ذخیره‌شده در خازن و انرژی الکترومغناطیسی درون سیملوله را به‌دست آورید.

پاسخ: الف) $T = ۸\pi \times ۱۰^{-۶}\text{s}$ ب) $q = ۴\sqrt{۲} \times ۱۰^{-۵}\text{C}$، $W = ۲ \times ۱۰^{-۴}\text{J}$

خودآزمایی کلی

پرسشهای چهارگزینه‌ای از چهار فصل کتاب

۱. مقاومت ظرفیتی یک خازن در مدار جریان متناوب به‌ترتیب با ظرفیت خازن و بسامد جریان چه نسبتی دارد؟

الف) عکس، عکس ب) مستقیم، مستقیم

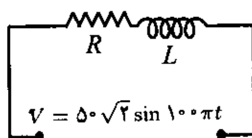
پ) عکس، مستقیم ت) مستقیم،عکس

۲. سیملوله‌ای به ضریب خودالقایی L را یک‌بار با خازنی به ظرفیت C در مدار جریان متناوبی به بسامد ۵۰Hz و بار دیگر به ظرفیت C' در مدار جریان متناوبی به بسامد ۲۵Hz به‌طور متوالی قرار می‌دهیم. در هر دو حالت تشدید حاصل می‌شود. نسبت C'/C کدام است؟

الف) ۲ ب) ۴

پ) $\frac{۱}{۲}$ ت) $\frac{۱}{۴}$

۳. در شکل اگر اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مقاومت R برابر ۴۰ ولت باشد، اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر سیملوله چند ولت است؟



الف) ۵۰

ب) ۱۰

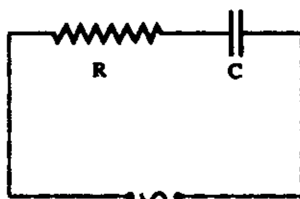
پ) ۳۰

ت) ۷۰

۴. در مبدلی تعداد حلقه‌های مدار اولیه ۶۰ برابر تعداد حلقه‌های مدار ثانویه است. اگر شدت جریان مدار ثانویه ۰٫۵ آمپر و بازده مبدل ۰٫۸ باشد، شدت جریان مدار اولیه تقریباً چند آمپر است؟

الف) ۳٫۲ ب) ۱ پ) ۰٫۵ ت) ۰٫۰۱

۵. در مدار شکل ضریب توان $\frac{۱}{۲}$ است. نسبت ولتاژ دو سر خازن به ولتاژ دو سر مقاومت (V_C/V_R) کدام است؟



الف) $\sqrt{۳}$

ب) $\frac{۱}{۲}$

پ) $\frac{۱}{\sqrt{۳}}$

ت) $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$

۶. در یک مدار الکتریکی یک سیملولهٔ آرمانی با مقاومت القایی ۸۰Ω و یک مقاومت $R = ۶۰\Omega$ به‌طور متوالی به‌هم بسته شده‌اند. نسبت توان حقیقی به توان ظاهری برابر است با

الف) $\frac{۳}{۴}$ ب) $\frac{۳}{۵}$

پ) $\frac{۳}{۷}$ ت) $\frac{۴}{۵}$

۷. از یک سیملوله به مقاومت حقیقی ۶Ω جریان متناوبی با بسامد $\frac{۱۰۰}{\pi}$ هرتز می‌گذرد. در صورتی‌که ضریب توان ۰٫۶ باشد، ضریب خودالقایی سیملوله چند میلی هانری است؟

الف) ۲۰ ب) ۱۰

پ) ۴۰ ت) ۱۵

۸. سیملوله‌ای به مقاومت R دارای یک هستهٔ آهنی است و با یک خازن به‌طور متوالی در مدار جریان متناوبی قرار دارد $(X_L < X_C)$. اگر بتدریج هستهٔ آهنی را خارج کنیم، اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار چگونه تغییر می‌کند؟

الف) کاهش می‌یابد.

ب) ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

پ) افزایش می‌یابد.

ت) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

۹. هرگاه در پرسش بالا $X_L > X_C$ باشد، با خارج کردن هستهٔ آهنی اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار چگونه تغییر می‌کند؟

الف) کاهش می‌یابد.

ب) ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

پ) افزایش می‌یابد.

ت) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

۱۰. معادله‌های شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر سیملوله‌ای به‌ترتیب $I = ۵\sqrt{۲}\sin ۱۰۰\pi t$ و $V = ۱۰۰\sqrt{۲}\sin\left(۱۰۰\pi t + \frac{\pi}{۳}\right)$ است. مقاومت حقیقی این سیملوله چند اهم است؟

الف) $۱۰\sqrt{۲}$ ب) ۱۰

پ) ۲۰ ت) $۲۰\sqrt{۲}$

۱۱. از سیملوله‌ای به مقاومت حقیقی ۲Ω شدت جریانی به معادلهٔ $I = ۲\sqrt{۲}\sin ۴۰۰t$ عبور می‌کند. اگر فاز اولیهٔ اختلاف پتانسیل دو سر سیملوله $\frac{\pi}{۴}$ باشد، ضریب خودالقایی سیملوله چند هانری است؟

الف) ۰٫۰۰۵ ب) ۰٫۱

پ) ۰٫۰۱ ت) ۰٫۰۵

۱۲. شار مغناطیسی که از یک سیملوله می‌گذرد به‌صورت $\varphi = ۴ \sin ۱۰t + ۸$ است. بیشینهٔ نیروی محرکهٔ القایی در سیملوله چند ولت است؟

الف) ۱۰ ب) ۴۸ پ) ۴ ت) ۴۰

۱۳. در مدار جریان متناوبی یک مقاومت ($L = ۰$) و یک خازن که دی‌الکتریک آن هواست به‌طور متوالی قرار دارند. اگر یک دی‌الکتریک شیشه‌ای بین دو صفحهٔ خازن قرار دهیم، بار خازن و شدت جریان چگونه تغییر می‌کند؟

الف) هر دو کاهش می‌یابند.

ب) اولی کاهش و دومی افزایش می‌یابد.

پ) هر دو افزایش می‌یابند.

ت) اولی افزایش و دومی کاهش می‌یابد.

۱۴. خودالقای بدون مقاومت L و خازن C به‌طور متوالی در مدار جریان متناوبی قرار دارند و $X_C > X_L$ است. کدام گزینه در مورد این مدار صحیح است؟

الف) شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار همفازند.

ب) شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار در فاز متقابل‌اند.

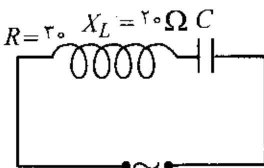
پ) توان مصرفی مدار ناچیز است.

ت) ضریب توان مدار برابر یک است.

۱۵. خازنی به ظرفیت ۴۰ میکروفاراد و سیملوله‌ای به ضریب خودالقای L به‌طور متوالی قرار دارند و جریان $I = I_m \sin ۵۰۰t$ از مدار عبور می‌کند. اگر مدار در حال تشدید باشد، L چند هانری است؟

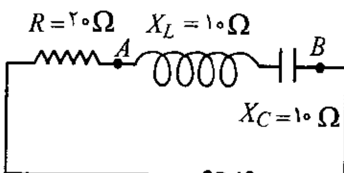
الف) ۰/۱ ب) ۰/۲ پ) ۰/۵ ت) ۰/۸

۱۶. در شکل اگر شدت جریان نسبت به اختلاف پتانسیل دو سر مدار $\frac{\pi}{۴}$ تقدم فاز داشته باشد، X_C چند اهم است؟



الف) ۱۰ ب) ۲۰ پ) ۳۰ ت) ۵۰

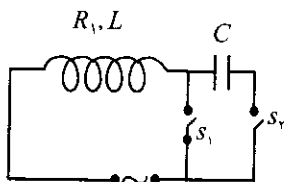
۱۷. در مداری مطابق شکل اگر شدت جریان مؤثر ۵ آمپر باشد، ولتاژ مؤثر بین دو نقطهٔ A و B برابر است با



الف) ۵۰ ولت ب) ۱۰۰ ولت پ) صفر ت) ۵۰۲ ولت

۱۸. در مداری مطابق شکل ابتدا کلید $S_۱$ بسته و کلید $S_۲$ باز است. اگر کلید $S_۱$ را باز و $S_۲$ را ببندیم،

شدت جریان مؤثر تغییر نمی‌کند. در صورتی‌که $L = ۰/۲\text{H}$ و بسامد جریان ۵۰Hz باشد، ظرفیت خازن تقریباً چند میکروفاراد است؟



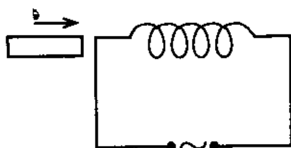
الف) ۵۰

ب) ۱۰۰۰

پ) ۲۵

ت) ۱۰۰

۱۹. در مداری مطابق شکل جریان ثابتی از سیملوله می‌گذرد. یک هستهٔ آهنی را داخل سیملوله فرو می‌بریم. در حین این‌کار شدت جریان



الف) کم می‌شود و به مقدار اولیه برمی‌گردد.

ب) زیاد می‌شود و در همان مقدار باقی می‌ماند.

پ) بدون تغییر می‌ماند.

ت) زیاد می‌شود و به مقدار اولیه برمی‌گردد.

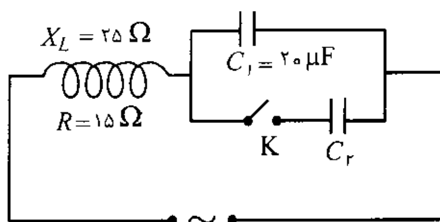
۲۰. جریان متناوبی به معادلهٔ $I = I_m \sin\omega t$ از خازن C عبور می‌کند. معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر خازن کدام است؟

الف) $V = V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{۲}\right)$ ب) $V = V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{۲}\right)$

پ) $V = V_m \sin(\omega t - \pi)$ ت) $V = V_m \sin(\omega t + \pi)$

۲۱. در شکل اگر کلید K بسته شود مدار به حالت تشدید درمی‌آید. در صورتی‌که معادلهٔ اختلاف پتانسیل دو سر مدار $V = V_m \sin ۴۰۰t$ باشد، $C_۲$ چند میکروفاراد است؟

الف) ۲۰ ب) ۳۰ پ) ۴۰ ت) ۸۰



۲۲. مداری شامل مقاومت R و خودالقای L و خازن C است. اگر از این مدار جریان متناوبی که بیشینهٔ آن I_m است بگذرد، توان مصرفی مدار از کدام رابطه حساب می‌شود؟

الف) $\frac{۱}{۲}RI_m^۲$ ب) $V_m I_m \cos\varphi$ پ) $RI_m^۲$ ت) $ZI_m^۲$

۲۳. یک سیملولهٔ بدون مقاومت و یک خازن را به‌طور متوالی به‌هم می‌بندیم و به برق شهر وصل می‌کنیم. اگر بتدریج یک هستهٔ آهنی را در سیملوله داخل کنیم، اختلاف فاز بین V_L و V_C

الف) ثابت می‌ماند.

ب) کم می‌شود.

پ) زیاد می‌شود.

ت) بسته به شرایط هر یک از حالتها ممکن است اتفاق بیفتد.

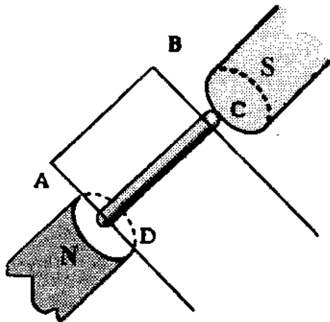
۲۴. مطابق شکل میلهٔ CD باید چگونه حرکت داده شود تا جهت جریان القایی از B به‌طرف A باشد؟

الف) به‌سمت چپ کشیده شود.

ب) از راستای خود عقب کشیده شود.

پ) به‌سمت راست کشیده شود.

ت) از راستای خود جلو کشیده شود.



۲۵. سیملوله‌ای به مقاومت $R = ۳۰\Omega$ و مقاومت القایی $X_L = ۴۰\Omega$ بین دو نقطه با اختلاف‌پتانسیلی به معادلهٔ $V = ۱۵۰\sqrt{۲}\sin ۱۰۰\pi t$ قرار دارد. توان مصرفی آن چند وات است؟

الف) ۲۰۰ ب) ۱۱۲۵ پ) ۴۵۰ ت) ۲۷۰

۲۶. از سیملوله‌ای به مقاومت حقیقی $۳۰\sqrt{۳}$ اهم و مقاومت القایی ۳۰Ω جریان متناوبی به معادلهٔ $I = I_m \sin ۱۰۰\pi t$ عبور می‌کند. فاز اختلاف پتانسیل دو سر سیملوله نسبت به فاز شدت جریان چگونه است؟

الف) $\frac{\pi}{۳}$ تقدم فاز دارد. ب) $\frac{\pi}{۶}$ تأخیر فاز دارد.

پ) $\frac{\pi}{۶}$ تقدم فاز دارد. ت) $\frac{\pi}{۳}$ تأخیر فاز دارد.

۲۷. در یک مبدل آرمانی

الف) توان در مدار خروجی بیشتر از توان در مدار ورودی است.

ب) شدت جریانهای دو مدار با تعداد حلقه‌های دو مدار نسبت مستقیم دارند.

پ) اختلاف پتانسیلهای دو مدار با تعداد حلقه‌ها نسبت عکس دارند.

ت) شدت جریانهای دو مدار با تعداد حلقه‌های دو مدار نسبت عکس دارند.

۲۸. وقتی سیملوله‌ای در یک میدان مغناطیسی یکنواخت با سرعت زاویه‌ای ثابت می‌چرخد، در کدامیک از گزینه‌های زیر نیروی محرکهٔ القایی صفر می‌شود؟

الف) در لحظه‌هایی که شار عبوری از حلقه‌ها بیشینه باشد.

ب) هر زمان که شار عبوری از حلقه صفر شود.

پ) چون سیملوله با سرعت ثابت می‌چرخد نیروی محرکه همواره صفر می‌شود.

ت) وقتی‌که شار عبوری از حلقه مثبت باشد.

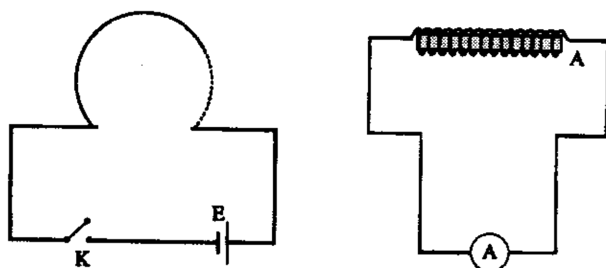
۲۹. در شکل کلید K را وصل و سپس قطع می‌کنیم. طرف A میلهٔ آهنی که درون سیملوله است ازنظر قطب آهنربا به‌ترتیب چه خواهد شد؟

الف) جنوب ـ جنوب

ب) شمال ـ شمال

پ) جنوب ـ شمال

ت) شمال ـ جنوب



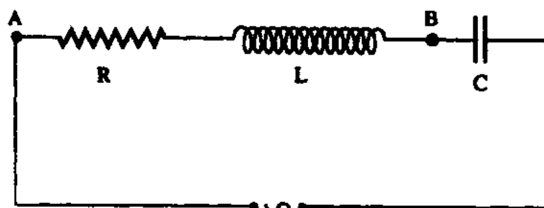
۳۰. در مداری مطابق شکل ولتاژ دو سر خازن، خودالقا و مقاومت هر سه باهم برابرند. اختلاف فاز جریان مدار و ولتاژ دو نقطهٔ A و B چند رادیان است؟

الف) $\frac{\pi}{۴}$

ب) $\text{Arc}\tan\frac{۱}{۲}$

پ) صفر

ت) $\text{Arc}\tan ۲$



۳۱. دو سر سیملوله‌ای به مقاومت حقیقی ۳۰ اهم را به اختلاف پتانسیل $V = ۲۰۰\sqrt{۲}\sin ۲۵۰t$ وصل می‌کنیم. اگر شدت جریان مؤثر ۴ آمپر باشد، ضریب خودالقایی سیملوله چند هانری است؟

الف) ۰٫۲۵

ب) ۰٫۱۲

پ) ۰٫۲

ت) ۰٫۱۶

۳۲. در یک مدار جریان متناوب، جریان مدار نسبت به ولتاژ به‌اندازهٔ $\varphi < \frac{\pi}{۲}$ رادیان تقدم فاز دارد. کدام گزینه درست است؟

الف) در مدار خودالقا وجود ندارد.

ب) توان ظاهری مدار از توان مصرفی بزرگتر است.

پ) در مدار خازن وجود ندارد.

ت) مقاومت مدار صفر است.

۳۳. سیملوله‌ای به مقاومت الکتریکی R و ضریب خودالقای $L = ۱\text{H}$ را با خازنی به ظرفیت

$C = ۲۵\mu F$ به‌طور متوالی به اختلاف پتانسیل $V = V_m \sin \omega t$ وصل می‌کنیم. اگر ضریب توان مدار برابر ۱ باشد، ω چند رادیان بر ثانیه است؟

الف) ۲۵۰

ب) ۲۵π

پ) ۲۰۰

ت) بسته به مقاومت R و V_m هر یک از سه مقدار ممکن است.

۳۴. در یک مدار جریان متناوب $X_C = X_L = ۴۰\Omega$ و $R = ۲۰\Omega$ به‌طور متوالی به‌هم بسته شده‌اند. اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار کدام است؟

الف) صفر ب) $\frac{\pi}{۲}$

پ) $\frac{\pi}{۴}$ ت) باید بسامد جریان معلوم باشد.

۳۵. از سیملوله‌ای به مقاومت ۰٫۸ اهم و ضریب خودالقایی $۰٫۰۰۲H$ جریان متناوبی به معادلهٔ $I = I_m \sin ۳۰۰t$ می‌گذرد. ضریب توان مدار کدام است؟

الف) ۰٫۶ ب) ۰٫۸ پ) ۰٫۲۴ ت) ۰٫۴۸

۳۶. در یک مدار جریان متناوب $V_e = ۱۲۰$ ولت و $I_e = ۱A$ است. هرگاه اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار φ و $\tan\varphi = \frac{۴}{۳}$ باشد، توان مصرفی متوسط چند وات است؟

الف) ۹۰ ب) ۱۶۰ پ) ۷۲ ت) ۱۲۰

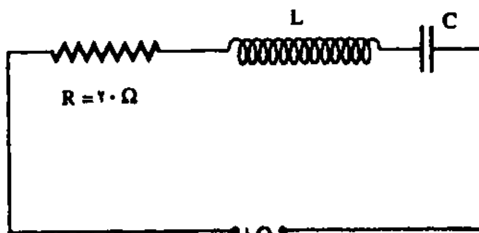
۳۷. در مداری مطابق شکل $V = ۱۰۰\sqrt{۲}\sin(\omega t + ۵۵^\circ)$ و $I = I_m \sin(\omega t + ۱۰^\circ)$ است. در این‌صورت I_m چند آمپر است؟

الف) $۱۰\sqrt{۲}$

ب) ۵

پ) ۱۰

ت) $۵\sqrt{۲}$



۳۸. در یک مدار نوسانگر LC برای افزایش بسامد کدامیک از تدابیر مناسب است؟ مقاومت الکتریکی مدار ناچیز است.

الف) افزایش ضریب خودالقایی و افزایش ظرفیت خازن.

ب) کاهش ضریب خودالقایی و افزایش ظرفیت خازن.

پ) افزایش ضریب خودالقایی و کاهش ظرفیت خازن.

ت) کاهش ضریب خودالقایی و کاهش ظرفیت خازن.

۳۹. معادله‌های شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر یک مصرف‌کننده $I = ۵\sqrt{۲}\sin\left(۱۰۰\pi t - \frac{\pi}{۳}\right)$ و $V = ۲۰۰\sqrt{۲}\sin(۱۰۰\pi t)$ است. توان مصرفی چند وات است؟

الف) ۲۵۰ ب) ۵۰۰ پ) ۱۰۰۰ ت) ۲۰۰۰

۴۰. بین دو نقطه از مدار جریان متناوبی، معادلهٔ اختلاف پتانسیل $V = V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{۶}\right)$ و معادلهٔ شدت جریان $I = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{۶}\right)$ است. اجزای موجود بین این دو نقطه کدام است؟

الف) خودالقا و مقاومت و خازن ب) فقط خودالقا

پ) مقاومت و خودالقا ت) فقط خازن

۴۱. در یک مدار جریان متناوب سیملوله‌ای به مقاومت حقیقی ۲۰Ω و یک خازن با مقاومت ظرفیتی $X_C = ۳۰\Omega$ به‌طور متوالی بسته شده‌اند. اختلاف پتانسیل نسبت به شدت جریان $\frac{\pi}{۴}$ تقدم فاز دارد. در این‌صورت X_L چند اهم است؟

الف) ۵۰ ب) ۴۰ پ) ۳۰ ت) ۱۰

۴۲. در مدار جریان متناوبی مقاومت R، خودالقای L و خازن C به‌طور متوالی قرار دارند و اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر آنها به‌ترتیب ۸۰ ولت، ۴۰ ولت و ۱۰۰ ولت است. ضریب توان این مدار کدام است؟

الف) ۰/۶ ب) ۰/۴ پ) ۰/۷۵ ت) ۰/۸

۴۳. یک سیملوله و یک مقاومت را به‌طور متوالی به‌هم می‌بندیم و به برق شهر متصل می‌کنیم. اگر بتدریج هستهٔ آهنی را در سیملوله داخل کنیم، اختلاف فاز میان ولتاژ و جریان

الف) کم می‌شود.

ب) زیاد می‌شود.

پ) ثابت می‌ماند.

ت) بسته به شرایط هر یک از سه حالت ممکن است اتفاق بیفتد.

۴۴. هستهٔ مبدلی به‌جای آهن یکپارچه به‌صورت ورقه‌هایی از آهن است که بین آنها عایقبندی شده است. این عمل برای چیست؟

الف) بالا بردن ولتاژ ثانویه

ب) سبک کردن هسته

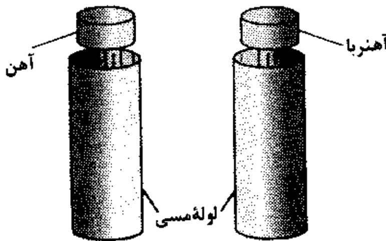
پ) ایجاد یک نوع جریان القایی

ت) جلوگیری از یک نوع جریان القایی

۴۵. شار مغناطیسی که از سیملوله‌ای می‌گذرد در مدت ۰/۲۵ ثانیه از ۰/۲- وبر به ۱/۲ وبر می‌رسد. نیروی محرکهٔ القایی متوسط چند ولت است؟

الف) ۴/۸ ب) ۶/۴ پ) ۴ ت) ۵/۶

۴۶. یک آهنربا و یک قطعهٔ آهن که ظاهراً مشابه‌اند مطابق شکل داخل دو لولهٔ مسی بدون آنکه با دیواره تماس داشته باشند رها می‌شوند. سرعت آهنربا هنگام خروج از لوله نسبت به سرعت آهن چگونه است؟



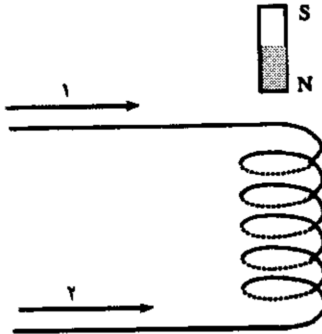
الف) بیشتر

ب) کمتر

پ) مساوی

ت) بسته به شرایط هر سه حالت ممکن است رخ دهد.

۴۷. مطابق شکل آهنربا را رها می‌کنیم، تا از درون سیملوله عبورکند. جریان در سیملوله را به هنگام ورود I_1 و هنگام خروج I_2 می‌نامیم. دو جهت ممکن جریان روی شکل با شماره‌های ۱ و ۲ مشخص شده است. کدام گزینه ازنظر تطابق جهت جریانها با شماره‌ها درست است؟



الف) I_1 در جهت ۲ و I_1 در جهت ۱

ب) I_1 در جهت ۱ و I_2 در جهت ۲

پ) I_1 و I_2 هر دو در جهت ۱

ت) I_1 و I_2 هر دو در جهت ۲

۴۸. در مدار جریان متناوبی به معادلهٔ $I = I_m \sin ۵۰۰t$ سیملوله‌ای به مقاومت R و ضریب خودالقایی L با خازنی به ظرفیت ۴۰ میکروفاراد به‌طور متوالی قرار دارد، و مدار در حال تشدید است. L چند هانری است؟

الف) ۰/۱ ب) ۰/۲ پ) ۰/۴ ت) ۰/۵

۴۹. مدار جریان متناوبی شامل سیملوله‌ای به مقاومت ظاهری ۵ اهم و مقاومت القایی ۳ اهم است. ضریب خودالقایی این مدار کدام است؟

الف) $\frac{۲}{۳}$ ب) $\frac{۳}{۵}$

پ) $\frac{۳}{۴}$ ت) $\frac{۴}{۵}$

۵۰. جریان متناوبی به بسامد ۵۰ هرتز از سیملوله‌ای به ضریب خودالقایی $\frac{۰/۰۳}{\pi}$ هانری عبور می‌کند. اگر اختلاف پتانسیل دو سر سیملوله ۱۰ ولت و شدت جریان مؤثر ۲ آمپر باشد، مقاومت حقیقی سیملوله چقدر است؟

الف) $\frac{۲۵}{۹}$ ب) $\frac{۹}{۲۵}$

پ) ۵ ت) ۴

۵۱. مقاومت R و خازن C به‌طور متوالی در مدار جریان متناوبی قرار دارند. اگر $R = ۲X_C$ باشد، نسبت توان مصرفی در خازن به توان مصرفی مقاومت کدام است؟

الف) صفر ب) $\frac{۱}{۲}$

پ) ۲ ت) $\frac{۱}{۴}$

۵۲. بین دو نقطه اختلاف پتانسیل $V = ۱۰۰\sqrt{۲}\sin ۱۰۰\pi t$ برقرار است. اگر مقاومت حقیقی مدار ۲۰ اهم و شدت جریان با اختلاف پتانسیل همفاز باشد، در هر دقیقه چند کیلوژول گرما در مدار تولید می‌شود؟

الف) ۵ ب) ۶

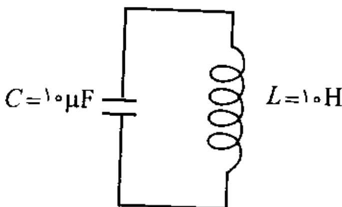
پ) ۵۰ ت) ۳۰

۵۳. با قرار دادن سیملوله‌ای در یک میدان می‌توان در آن جریان الکتریکی برقرارکرد. این میدان چیست؟

الف) گرانشی ب) مغناطیسی متغیر

پ) الکتریکی ثابت ت) مغناطیسی ثابت

۵۴. در مداری مطابق شکل، قبل از بستن کلید، خازن دارای بار الکتریکی ۵۰ میکروکولن است. بیشترین جریانی که از سیملوله می‌گذرد چند آمپر است؟



الف) ۰٫۰۰۵

ب) ۵۰۰

پ) ۰٫۵

ت) ۵×۱۰^{-۶}

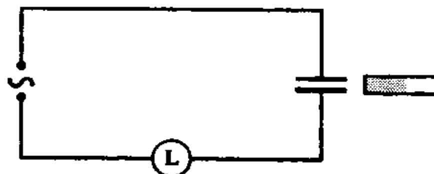
۵۵. اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل مداری که مقاومت ظاهری آن دوبرابر مقاومت حقیقی آن است چند رادیان خواهد بود؟

الف) $\frac{\pi}{۲}$ ب) π پ) $\frac{\pi}{۶}$ ت) $\frac{\pi}{۳}$

۵۶. مداری مطابق شکل از یک لامپ و یک خازن تشکیل شده است. اگر یک قطعهٔ دی‌الکتریک میان صفحه‌های خازن قرار دهیم، شدت نور لامپ نسبت به حالت قبل .... .

الف) کمتر می‌شود. ب) تغییر نمی‌کند. پ) بیشتر می‌شود.

ت) بسته به شرایط هر سه حالت ممکن است رخ دهد.



۵۷. از سیملوله‌ای به مقاومت R و ضریب خودالقایی L جریان متناوبی به معادلهٔ $I = I_m \sin ۱۰۰\pi t$ می‌گذرد. اختلاف پتانسیل دو سر سیملوله نسبت به شدت جریان . . .

الف) کمتر از $\frac{\pi}{۲}$ تأخیر فاز دارد.

ب) $\frac{\pi}{۲}$ تأخیر فاز دارد.

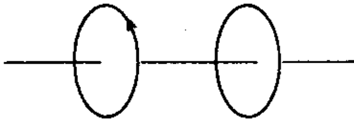
پ) $\frac{\pi}{۲}$ تقدم فاز دارد.

ت) کمتر از $\frac{\pi}{۲}$ تقدم فاز دارد.

۵۸. بین دو نقطه از مدار جریان متناوبی به معادلهٔ $I = ۲ \sin ۱۰۰\pi t$ سیملوله‌ای به مقاومت حقیقی ۲۰ اهم و ضریب خودالقایی $\frac{۱}{\pi^۲}$ هانری با خازنی به ظرفیت ۱۰۰ میکروفاراد به‌طور متوالی قرار دارند. بیشینهٔ اختلاف پتانسیل بین این دو نقطه از مدار چند ولت است؟

الف) $۱۰۰\sqrt{۲}$ ب) ۱۰۰ پ) $۴۰\sqrt{۲}$ ت) ۴۰

۵۹. دو حلقهٔ سیمی مطابق شکل قرار دارند. اگر ناگهان در یکی از حلقه‌ها جریانی در جهت نشان داده شده برقرار شود، بر حلقهٔ دوم چه نیرویی وارد می‌شود؟



الف) بر حلقه نیرویی وارد نمی‌شود.

ب) بر حلقه نیرویی به‌طرف راست وارد می‌شود.

پ) بر حلقه نیرویی به‌طرف چپ وارد می‌شود.

ت) بر حلقه نیرو وارد می‌شود و دور محورش می‌چرخد.

۶۰. یک ورقهٔ مسی را در میدان مغناطیسی آهنربای دائمی قوی قرار می‌دهیم به‌طوری‌که سطح ورقه بر میدان مغناطیسی عمود باشد. هرگاه ورقهٔ مسی را با سرعت بیرون بکشیم،

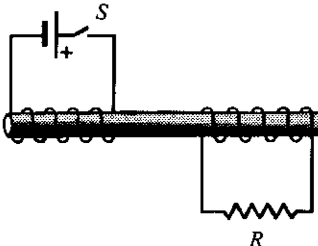
الف) نیروی مغناطیسی بر ما وارد می‌شود که با عمل ما مخالفت می‌کند.

ب) نیروی مغناطیسی بر ما وارد می‌آید که به عمل ما کمک می‌کند.

پ) هیچ نیرویی احساس نمی‌کنیم.

ت) هر نیرویی که احساس می‌کنیم عمدتاً به ناخالصیهای آهن درمس مربوط است.

۶۱. با توجه به شکل، بلافاصله پس از بستن کلید S، در R جریان در کدام جهت برقرار می‌شود؟



الف) راست.

ب) چپ.

پ) از R جریان نمی‌گذرد.

ت) از R جریان ثابت و دائمی عبور می‌کند.

۶۲. در پرسش قبل، مدت زمان زیادی پس از بستن کلید S، در مقاومت R جریان در کدام جهت برقرار می‌شود؟

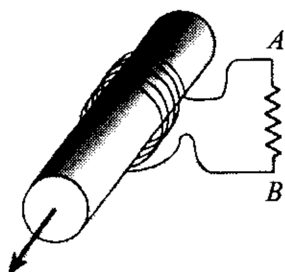
الف) راست.

ب) چپ.

پ) از R جریان عبور نمی‌کند.

ت) جریان ثابت و دائمی عبور می‌کند.

۶۳. استوانهٔ آلومینیومی به سرعت از پیچه‌ای با N دور سیم مطابق شکل بیرون کشیده می‌شود. در این‌صورت کدام گزینه درست است؟



الف) به پیچه نیروی خالصی اثر می‌کند.

ب) جریان القایی از A به B برقرار می‌شود.

پ) جریان القایی از B به A برقرار می‌شود.

ت) هیچ جریانی در مدار القا نمی‌شود.

۶۴. خودالقایی سیملوله بستگی دارد به

الف) جریانی که از آن می‌گذرد.

ب) شار داخل آن.

پ) نیروی محرکهٔ اعمال‌شده به آن.

ت) عوامل هندسی مثل اندازه و شکل و تعداد دورها.

۶۵. یک حلقهٔ مسی و یک حلقهٔ چوبی به ابعاد یکسان چنان قرارگرفته‌اند که شار مغناطیسی یکسانی از آنها می‌گذرد. میدانهای الکتریکی القایی در آنها چگونه است؟

الف) میدانهای الکتریکی القایی در هر دو یکسان است.

ب) میدانهای القایی در مس بزرگتر است.

پ) میدانهای القایی در چوب بزرگتر است.

ت) میدان الکتریکی القایی به‌وجود نمی‌آید.

۶۶. بعد خودالقا برحسب جرم (M) و طول (L) و زمان (T) و بار (Q) چیست؟

الف) $MLT^{۲}Q$ ب) $ML^{۲}T^{-۲}Q^{-۲}$

پ) $ML^{۲}Q^{-۲}$ ت) $ML^{۲}T^{۲}Q$

۶۷. حلقه‌ای با سرعت زاویه‌ای ثابت حول محوری که با میدان مغناطیسی ثابتی زاویهٔ θ می‌سازد می‌چرخد. θ چقدر باشد تا شار مغناطیسی بیشینه از حلقه بگذرد؟

الف) $\theta = ۰$ ب) $۰ > \theta > \frac{\pi}{۲}$

پ) $\theta = \frac{\pi}{۲}$ ت) $\frac{\pi}{۲} < \theta < \pi$

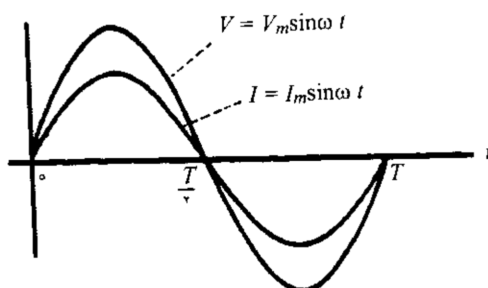
۶۸. نمودار تغییرات اختلاف پتانسیل و شدت جریان برحسب زمان به شکل زیر است. اجزای تشکیل دهندهٔ این مدار کدام است؟

الف) فقط خودالقا.

ب) فقط مقاومت.

پ) خازن و مقاومت.

ت) خودالقا و مقاومت.



۶۹. اگر در مدار جریان متناوبی $X_L = X_C$ باشد، توان مصرفی مدار از کدام رابطه به‌دست می‌آید؟

الف) $\sqrt{۲}V_e I_e$ ب) $\frac{\sqrt{۲}}{۲}V_e I_e$ پ) $V_e I_e$ ت) صفر

۷۰. دو سر یک مقاومت ۲۰ اهمی به اختلاف پتانسیل $V = ۸۰\sqrt{۲}\sin ۱۰۰\pi t$ وصل است. توان مصرفی آن چند وات است؟

الف) ۳۲۰ ب) $۳۲۰\sqrt{۲}$ پ) ۱۶۰۰ ت) $۱۶۰۰\sqrt{۲}$

۷۱. مقاومت الکتریکی در جریان متناوب

الف) هیچ اثری ندارد.

ب) فقط انرژی را به گرما تبدیل می‌کند.

پ) فقط اختلاف فازی بین ولتاژ و جریان ایجاد می‌کند.

ت) انرژی را تلف می‌کند و بین جریان و ولتاژ اختلاف فاز به‌وجود می‌آورد.

۷۲. از سیمی به مقاومت ۲۵ اهم جریان متناوبی می‌گذرد. اگر توان متوسط مصرف شده در سیم ۴۰۰ وات باشد، شدت جریان بیشینه چند آمپر است؟

الف) $۴\sqrt{۲}$ ب) ۴ پ) $۲\sqrt{۲}$ ت) ۲

۷۳. بین دو سر سیمی به مقاومت R اختلاف پتانسیل متناوبی را که مقدار مؤثر آن V_e است برقرار می‌کنیم. اگر این سیم را به‌صورت سیملوله درآوریم و در همان مدار قرار دهیم گرمای ایجادشده در هر ثانیه

الف) کمتر می‌شود.

ب) بیشتر می‌شود.

پ) تغییر نمی‌کند.

ت) بسته به مقادیر R و V_e ممکن است بیشتر یا کمتر شود.

۷۴. یکای حاصلضرب ضریب خودالقا و ظرفیت خازن در SI کدام است؟

الف) ثانیه به توان دو ب) آمپر

پ) ولت ت) هرتز

۷۵. از خازنی به ظرفیت ۴ میکروفاراد جریان متناوبی با بسامد $۱۲۵/\pi$ کیلوهرتز می‌گذرد. ضریب خودالقای سیملوله‌ای که باید به‌طور متوالی به خازن ببندیم تا تشدید ایجاد شود کدام است؟

الف) $۴\mu H$ ب) $۸\mu H$ پ) $۲\mu H$ ت) $۱۶\mu H$

۷۶. از مداری شامل خودالقای بدون مقاومت و خازن که به‌طور متوالی به‌هم بسته شده‌اند جریان متناوب می‌گذرد و اختلاف پتانسیل دو سر خودالقا و خازن برابر است ($V_L = V_C$). هرگاه بسامد جریان دوبرابر شود کدام گزینه درست است؟

الف) $V_L = ۲V_C$ ب) $V_L = V_C$ پ) $V_L = \frac{۱}{۲}V_C$ ت) $V_L = ۴V_C$

تمرینهای کلی

۱. قطر یک سیملوله ۴cm و دارای ۱۰۰۰ دور در متر است و جریان ۳A از آن می‌گذرد. در وسط این سیملوله، سیملولهٔ دیگری به قطر ۳cm که دارای ۱۰۰ دور سیم است قرار دارد. محور این دو سیملوله برهم قرار دارند. اگر در مدت ۰٫۱s جریان در سیملوله به صفر برسد، مطلوب است: الف) میدان درون سیملولهٔ بزرگتر، ب) شاری که از سیملولهٔ وسطی می‌گذرد، پ) نیروی محرکهٔ دو سر این سیملوله.

پاسخ: الف) $۳۷٫۸ \times ۱۰^{-۴}T$، ب) $۲٫۶۷ \times ۱۰^{-۶}Wb$، پ) ۲٫۶۶mV

۲. سیملوله‌ای به ضریب خودالقایی ۱۰H دارای مقاومت ۵۰Ω است. هرگاه دو انتهای این سیملوله را به اختلاف پتانسیل ۱۰۰V متصل کنیم انرژی الکتریکی ذخیره‌شده در آن چند ژول است؟

پاسخ: ۲۰J

۳. یک سیملوله به‌طول ۱۰cm دارای ۱۰۰ دور سیم است. سطح مقطع این سیملوله $۵cm^۲$ است و از آن جریان ۱٫۰A می‌گذرد. سیملولهٔ دیگری که دارای ۵ دور سیم است روی این سیملوله و در وسط آن قرار دارد. وقتی جریان را قطع می‌کنیم در مدت ۰٫۱s جریان به صفر می‌رسد. نیروی محرکه‌ای که در سیملوله ۵ دوری به‌وجود می‌آید چند ولت است؟

پاسخ: $۳۱۵\mu V$

۴. یک مقاومت ۱۰۰ اهمی را به مولدی به اختلاف پتانسیل ۱۰۰V و بسامد ۵۰Hz متصل می‌کنیم، مطلوب است: الف) بیشینهٔ اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت، ب) اختلاف پتانسیل متوسط دو سر مقاومت، پ) جریان مؤثر، ت) توان مصرفی، ث) انرژی مصرف‌شده در مدت ۵ دقیقه.

راهنمایی. اختلاف پتانسیل متوسط در نیم‌دور $\left(\frac{T}{۲}\right)$ از رابطه $\overline{V} = \frac{۲V_m}{\pi}$ به‌دست می‌آید.

پاسخ: الف) ۳۱۱V، ب) ۱۹۸V، پ) ۲٫۲۰A، ت) ۴۸۴W، ث) $۱٫۴۵ \times ۱۰^۵J$

۵. یک مدار الکتریکی شامل یک مقاومت $R = ۴۰\Omega$، یک القاگر به ضریب ۰٫۴۳H و یک خازن به ظرفیت $۲٫۵\mu F$ است که به‌طور متوالی به یکدیگر متصل‌اند و به دو سر یک مولد به اختلاف

پتانسیل مؤثر ۲۰V و بسامد $\frac{۱۰۰۰}{۲\pi}$ اتصال دارند. مطلوب است: الف) مقاومت ظاهری مدار، ب) جریان در مدار، پ) اختلاف فاز میان اختلاف پتانسیل و شدت جریان، ت) اختلاف پتانسیل دو سر هر جزءِ مدار.

پاسخ: الف) $Z = ۴۰\Omega$، ب) $I = ۰/۴A$، پ) $\cos\varphi = ۰/۸$ و $\varphi = ۳۷^\circ$، ت) $V_R = ۱۶V$، $V_L = ۱۷۲V$ و $V_e = ۱۶۰V$

۶. معین کنید بسامد جریانی را که اگر از مدار تمرین ۵ بگذرد در آن تشدید حاصل شود. در این‌صورت بیشینهٔ انرژی ذخیره‌شده در خازن و در القاگر چقدر است؟ توان مصرفی مدار چقدر است؟

پاسخ: $\nu = ۱۵۴Hz$، $W_L = ۵J$، $W_C = ۱۰^{-۳}J$ و $P = ۱۰W$

۷. در یک مدار RLC اختلاف پتانسیل در دو طرف خازن ۶۰V، در دو سر القاگر ۵۰V و در دو سر مقاومت ۴۰V است. اختلاف پتانسیل دو سر مدار چند ولت است؟

پاسخ: $\simeq ۴۱V$

۸. مقاومت ۵kΩ و خازنی با ظرفیت ۱μF را به اختلاف پتانسیل ۲۲۰V و ۵۰Hz به‌طور متوالی متصل کرده‌ایم. معین کنید: الف) مقاومت ظاهری مدار (امپدانس)، ب) جریان مؤثر، پ) توان مصرفی مدار.

پاسخ: الف) ۵/۹kΩ، ب) ۳۷mA، پ) ۶/۹W

۹. سیملوله‌ای به ضریب خودالقایی ۰/۱۰H را به مولدی به اختلاف پتانسیل ۵۰V و بسامد ۱۰۰Hz متصل می‌کنیم. جریان ۰/۵A از آن می‌گذرد. مقاومت سیملوله چقدر است؟ توان مصرفی در سیملوله را پیدا کنید.

پاسخ: ۷۸Ω و ۱۹W

۱۰. یک مدار متوالی شامل خازنی به ظرفیت $C = ۱۶\mu F$، القاگر $L = ۱۰۰mH$ و مقاومت $R = ۱۰۰\Omega$ است که از آن جریان ۱/۰A با بسامد ۵۰Hz می‌گذرد. مطلوب است: الف) اختلاف پتانسیل دو سر مدار، ب) انرژی ذخیره‌شده در خازن و در القاگر. اگر بسامد جریان متغیر باشد به‌ازای چه بسامدی جریان بیشینه است؟ در این‌صورت اختلاف پتانسیل هر جزءِ مدار چقدر است؟

پاسخ: الف) ۱۹۹V، ۳۱V، ۱۰۰V، ۱۹۵V، ب) ۰/۰۵۰J، ۰/۳۲J، ۱۲۶Hz، ۱/۹۵A، ۱۵۴V، ۱۵۴V و ۱۹۵V

۱۱. در سیملوله‌ای آهنگ تغییر جریان ۳۵A/s است. اگر نیروی محرکهٔ القایی ۷ ولت در آن به‌وجود آید، ضریب خودالقایی سیملوله چقدر است؟

پاسخ: ۰/۲H

۱۲. معادلهٔ شار مغناطیسی که از مداری به مقاومت ۳/۵ اهم می‌گذرد $\varphi = ۳t^۲ + ۸t + ۱۲$ است. مطلوب است: الف) اندازهٔ نیروی محرکهٔ القاشده در دو سر مدار در لحظهٔ $t = ۱s$، ب) اندازهٔ جریان در $t = ۱s$.

پاسخ: الف) ۱۴V، ب) ۴A

۱۳. سیملوله‌ای که سطح هر حلقهٔ آن $۵cm^۲$ است دارای هستهٔ آهنی با قابلیت گذردهی نسبی ۴۰۰ است. هرگاه طول سیملوله ۲۵cm و دارای ۱۲۵ حلقه باشد و از آن جریان ۲A بگذرد، چه شاری تولید می‌کند؟

پاسخ: $۳۱۴ \times ۱۰^{-۳}Wb$

۱۴. به القاگر مقاومت‌داری با ضریب خودالقایی ۵mH، چه خازنی را متصل کنیم تا در مدار تشدید حاصل شود؟

پاسخ: ۰/۵mF

پاسخنامهٔ پرسشهای چهارگزینه‌ای

ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
فصل اول							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	الف	۶	ت	۱۱	ت	۱۶	ب
۲	ب	۷	پ	۱۲	ب	۱۷	پ
۳	ت	۸	ت	۱۳	پ	۱۸	الف
۴	الف	۹	ت	۱۴	ت	۱۹	ت
۵	ت	۱۰	پ	۱۵	پ	۲۰	ب
فصل دوم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	پ	۶	الف	۱۱	پ	۱۶	پ
۲	ت	۷	ت	۱۲	الف	۱۷	ب
۳	پ	۸	پ	۱۳	الف	۱۸	الف
۴	ت	۹	ت	۱۴	ب	۱۹	الف
۵	ب	۱۰	ت	۱۵	ت	۲۰	الف
فصل سوم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	الف	۴	ب	۷	پ	۱۰	پ
۲	پ	۵	الف	۸	ب	۱۱	الف
۳	پ	۶	الف	۹	الف	۱۲	الف
فصل چهارم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	الف	۱۱	پ	۲۱	ب	۳۱	ت
۲	پ	۱۲	پ	۲۲	ت	۳۲	الف
۳	ب	۱۳	ب	۲۳	پ	۳۳	الف
۴	الف	۱۴	ب	۲۴	ت	۳۴	ب
۵	ت	۱۵	ت	۲۵	الف	۳۵	پ
۶	ب	۱۶	الف	۲۶	پ	۳۶	الف
۷	ت	۱۷	ت	۲۷	ت	۳۷	الف
۸	الف	۱۸	ب	۲۸	ت		
۹	ت	۱۹	پ	۲۹	پ		
۱۰	پ	۲۰	ب	۳۰	ت		

پاسخنامهٔ پرسشهای چهارگزینه‌ای کلی

ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	الف	۲۰	ب	۳۹	ب	۵۸	ت
۲	ب	۲۱	ت	۴۰	الف	۵۹	ب
۳	پ	۲۲	الف	۴۱	الف	۶۰	الف
۴	ت	۲۳	الف	۴۲	ت	۶۱	ب
۵	الف	۲۴	الف	۴۳	ب	۶۲	پ
۶	ب	۲۵	ت	۴۴	ت	۶۳	ت
۷	الف	۲۶	پ	۴۵	ت	۶۴	ت
۸	پ	۲۷	ت	۴۶	ب	۶۵	الف
۹	ب	۲۸	الف	۴۷	ب	۶۶	پ
۱۰	ب	۲۹	پ	۴۸	الف	۶۷	الف
۱۱	الف	۳۰	الف	۴۹	ت	۶۸	ب
۱۲	ت	۳۱	ت	۵۰	ت	۶۹	پ
۱۳	پ	۳۲	پ	۵۱	الف	۷۰	الف
۱۴	پ	۳۳	پ	۵۲	ت	۷۱	ب
۱۵	الف	۳۴	الف	۵۳	ب	۷۲	الف
۱۶	ت	۳۵	ب	۵۴	الف	۷۳	پ
۱۷	ب	۳۶	پ	۵۵	ت	۷۴	الف
۱۸	ب	۳۷	ب	۵۶	پ	۷۵	الف
۱۹	پ	۳۸	ت	۵۷	ت	۷۶	ت

فرهنگ اصطلاحات

آلترناتور (Alternator)

مولد جریان متناوب را آلترناتور یا متناوب‌ساز نامند.

اثر گرمایی جریان الکتریکی (Heating effect of electric current)

هرگاه جریان الکتریکی از رسانای با مقاومت بگذرد گرما تولید می‌شود. این خاصیت را اثرگرمایی جریان نامند.

اختلاف پتانسیل (Potential difference)

مقدار انرژی که میان دونقطه برای جابه‌جایی بار یک کولن الکتریسیته مصرف می‌شود اختلاف پتانسیل میان آن دو نقطه نامیده می‌شود.

القاگیر (Armature)

سیم‌پیچ مولد جریان الکتریکی را القاگیر نامند. القاگیر معمولاً متحرک است و بر اثر میدان مغناطیسی در آن جریان الکتریکی تولید می‌شود.

القای مغناطیسی (Electromagnetic induction)

هرگاه شار مغناطیسی متغیری یک رسانا را احاطه کند، در رسانا نیروی محرکه‌ای القا می‌شود که بزرگی آن بستگی به آهنگ تغییر شار مغناطیسی، یعنی میزان تغییر شار در واحد زمان دارد (قانون فارادی).

الکترون (Electron)

ذرهٔ بنیادی که جرم آن $۹/۱۰۹۵۵۸ \times ۱۰^{-۳۱}$ کیلوگرم و بار الکتریکی منفی آن $۱/۶۰۲۱۹۲ \times ۱۰^{-۱۹}$ کولن است. الکترون جزءِ سازندهٔ همهٔ اتمهاست.

الکترونیک (Electronics)

مطالعه، طراحی و استفاده از وسایلی که بر رسانش الکتریسیته در خلأ، گاز یا نیمرسانا مبتنی است.

بردار فازنما (Phasor)

برداری است که زاویهٔ آن با محور xها اختلاف فاز میان شدت جریان و اختلاف پتانسیل مدار را نشان می‌دهد.

بسامد (Frequency)

تعداد نوسانهای موج یا جسمی نوسانگر در مدت یک ثانیه را بسامد نامند. یکای بسامد هرتز و کیلوهرتز است. بسامدهای رادیویی بین ۳۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ کیلوهرتز را پربسامد یا به اختصار H.F و بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ مگاهرتز را پربسامدهای بالا یا به اختصار U.H.F می‌نامند.

پیچه (Coil)

مداری است به شکل حلقه که دارای تعداد زیادی دور است.

جریان متناوب (Alternating current)(ac)

یک جریان الکتریکی، که جهت آن در مدار به‌طور متناوب با بسامد ν که مستقل از ثابتهای مدار است تغییر می‌کند. در ساده‌ترین شکل، شدت جریان لحظه‌ای I با زمان t طبق معادلهٔ سینوسی تغییر می‌کند.

خازن (Capacitor)

وسیله‌ای است الکتریکی و از دو صفحهٔ رسانا که بین آنها عایقی قرار گرفته تشکیل شده است. خازن در ساده‌ترین شکل شامل دو صفحهٔ رسانای موازی است که به‌وسیلهٔ لایه‌ای از هوا یا مادهٔ عایق دیگری مانند میکا از هم جدا شده‌اند.

خودالقایی (Self inductance)

هرگاه جریان متغیری از یک سیملوله بگذرد شار مغناطیسی متغیری در آن تولید می‌شود. تغییر شار حاصل از تغییر جریان در سیملوله نیروی محرکه‌ای القایی در دو سر آن به‌وجود می‌آورد که آثار آن به‌صورت مقاومت ظاهر می‌شود و جریان را در سیملوله کاهش می‌دهد. این اثر به‌نام خودالقایی نامیده می‌شود.

خود-خازن (Self capacitance)

یک پیچهٔ القا یا مقاومت مقدار معینی ظرفیت دارد که در تقریب اول می‌تواند با یک خازن تنها که به‌طور موازی به پیچه یا مقاومت متصل شده است نشان داده شود.

رسانای الکتریکی (Electrical conductor)

ماده یا جسمی است که در مقابل عبور جریان الکتریکی مقاومت نسبتاً کمی از خود نشان می‌دهد و چنانچه بار الکتریکی به آن داده شود بار را در سطح خود توزیع می‌کند.

سیملوله (Solenoid)

مداری است برای عبور جریان الکتریکی که از مجموعه حلقه‌های پیوسته بهم تشکیل شده و به شکل لوله است.

شار مغناطیسی (Magnetic flux)

مجموعهٔ خطهای نیرویی که از سطحی که در میدان مغناطیسی قرار دارد می‌گذرد شار مغناطیسی نام دارد.

ظرفیت خازن (Capacitance)

نسبت بار الکتریکی ذخیره‌شده روی هر یک از صفحه‌های خازن به اختلاف پتانسیل بین دو صفحه است. ظرفیت هر خازن از بار الکتریکی روی صفحه‌ها مستقل است و به شکل و اندازهٔ صفحه‌ها و نوع عایق بین آنها بستگی دارد. واحد ظرفیت خازن فاراد است.

فاراد (Farad)

واحد ظرفیت خازن در دستگاه بین‌المللی (SI) است. فاراد ظرفیت خازنی است که هرگاه اختلاف پتانسیل اعمال شده بین دو صفحهٔ آن یک ولت باشد، یک کولن بار الکتریکی در آن ذخیره شود. ظرفیت خازن از تقسیم مقدار بار خازن بر اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ آن به‌دست می‌آید. میکروفاراد $10^{-6}F$، نانوفاراد $10^{-9}F$ و پیکوفاراد $10^{-12}F$ است.

فاز (Phase)

زاویه‌ای است که جلو یا عقب بودن یک حرکت نوسانی را نسبت به حرکت نوسانی دیگری که هم‌بسامد با اولی است و مبدأ فاز نامیده می‌شود بیان می‌کند.

فازنما (Phasor)

شکل برداری نشان‌دهندهٔ ولتاژ و جریان یک مدار.

مبدل (Transformer)

دستگاهی است که اختلاف پتانسیل و در نتیجه جریان متناوب را تغییر می‌دهد. اگر مبدلی اختلاف پتانسیل را افزایش دهد آن‌را مبدل افزاینده و اگر کاهش دهد آن‌را مبدل کاهنده می‌نامند.

مقاومت القایی (Inductive reactance)

نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک القاگر به جریانی است که از آن می‌گذرد. مقاومت القاگر را با نماد X_L نشان می‌دهند.

مقاومت الکتریکی (Electrical resistance)

نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک مدار به شدت جریانی است که از آن می‌گذرد. مقاومت الکتریکی را با نماد R نشان می‌دهند و یکای آن اهم است.

مقاومت خازنی (Capasitive reactance)

نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک خازن به جریانی است که از آن می‌گذرد. مقاومت ظرفیتی را با نماد X_C نشان می‌دهند.

موتور الکتریکی (Electric motor)

وسیله‌ای است برای تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی. موتور در ساده‌ترین شکل خود شامل یک سیم‌پیچ است که جریان برق از آن می‌گذرد و بین دو قطب یک آهنربای الکتریکی قوی قرار دارد.

میدان الکتریکی (Electric field)

خاصیتی که در اطراف هر بار الکتریکی ساکن یا متحرک موجود است و سبب می‌شود که بر بارهای الکتریکی دیگر نیرو وارد شود.

فضایی است در اطراف هر بار الکتریکی که اگر بار الکتریکی دیگری در آن فضا قرار گیرد بر آن نیرو وارد شود.

میدان مغناطیسی (Magnetic field)

خاصیتی است که در اطراف هر مغناطیس، یا بار الکتریکی متحرک موجود است و سبب می‌شود که بر

مغناطیسهای دیگر یا بارهای الکتریکی متحرک دیگر نیرو وارد شود.
فضایی است در اطراف هر مغناطیس یا بار الکتریکی متحرک که خاصیت مغناطیسی دارد.

نارسانا (Insulator)

جسمی است که الکتریسیته یا گرما را هدایت نمی‌کند و برای نگهداری یا جداسازی رساناها به‌منظور جلوگیری از جاری شدن گرما یا جریانهای الکتریکی نامطلوب به‌کار می‌رود.

وات (Watt)

یکای توان است و آن توان دستگاهی است که یک ژول انرژی را در مدت یک ثانیه تولید یا مصرف کند. یکای بزرگتر کیلووات kW برابر $۱۰^{۳}$W و مگاوات MW برابر $۱۰^{۶}$W است.

وات‌ساعت (Watt hour)

یکای عملی انرژی و برابر $۱۰^{۵} \times ۳۶$ ژول است.

وات‌سنج (Wattmeter)

دستگاهی است که توان یک مصرف‌کننده یا مولد الکتریکی را نشان می‌دهد.

وبر (Weber)

یکای اندازه‌گیری شار مغناطیسی در SI است. وبر، شار مغناطیسی است که چون از مداری شامل یک حلقه بگذرد و به‌طور یکنواخت کم شود تا در مدت یک ثانیه به صفر برسد، نیروی محرکهٔ القایی حاصل از تغییر شار در مدار مساوی یک ولت باشد. علامت اختصاری آن Wb است. هر وبر $۱۰^{۸}$ ماکسول است.

ولت (Volt)

یکای اختلاف پتانسیل و نیروی محرکهٔ الکتریکی در SI است. ولت، اختلاف پتانسیل میان دو نقطه‌ای است که اگر یک کولن الکتریسیته میان آن دو نقطه جابه‌جا شود یک ژول انرژی مصرف شود.

ولت‌سنج (Voltmeter)

دستگاهی است که اختلاف پتانسیل مصرفی یک دستگاه را نشان می‌دهد.

هانری (Henry)

یکای اندازه‌گیری ضریب خودالقا در SI است. هانری ضریب خودالقایی القاگری است که اگر آهنگ تغییر جریان در آن یک آمپر در مدت یک ثانیه باشد، نیروی محرکهٔ خودالقایی یک ولت تولید شود.

فهرست منابع

در تألیف این کتاب از منابع زیر استفاده شده است:

۱. ابوالقاسم قلمسیاه، محمدعلی پیغامی، **دورهٔ فیزیک آموزش متوسطهٔ عمومی**، وزارت آموزش و پرورش.
۲. اعظم پورقاضی، منیژهٔ رهبر، سیدمهدی شیوایی، غلامعلی محمودزاده، **دورهٔ فیزیک نظام جدید آموزش متوسطه**، وزارت آموزش و پرورش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی.
۳. محمدسپهری راد، حسن عزیزی، غلامعلی محمودزاده، **فیزیک دورهٔ پیشدانشگاهی** رشتهٔ علوم ریاضی، وزارت آموزش و پرورش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی.
۴. محمدعلی پزشپور، اسفندیار معتمدی، **جریانهای الکتریکی**، مؤسسهٔ انتشارات فاطمی، ۱۳۷۹.
۵. لندسبرگ، **دورهٔ درسی فیزیک** (جلد دوم، الکتریسیته و مغناطیس) ترجمهٔ لطیف کاشیگر، ناصر مقبلی، مهرانگیز طالب‌زاده، مؤسسهٔ انتشارات فاطمی، ۱۳۷۵.
۶. هولتون، رادرفورد، واتسون، **طرح فیزیک هاروارد** (واحد ۴، الکترومغناطیس) ترجمهٔ احمد خواجه‌نصیر طوسی، هوشنگ شریف‌زاده، مؤسسهٔ انتشارات فاطمی، ۱۳۷۵.

7. College Physics, Serway, Raymond A. and Faughn, Jerrys, Fifth Edition Saunders College Publishing (1999).

8. Principles of Physics, Ohanian Hans C., First Edition, Norton & Company, Inc. (1994).

9. Physics, Cutnell, John D. and Johnson, Kenneth W., 2nd. Ed., John Wiley (1992).

نمایه

کتابهای
موضوعی
فیزیک

پس از آنکه مشخص شد با الکتریسیته می‌توان مغناطیس تولید کرد گروهی از دانشمندان که فارادی وهنری از پیشروان آنها بودند موفق شدند از مغناطیس الکتریسیته تولید کنند که آن را القای الکترومغناطیسی نامیدند .

در کتاب **القای الکترومغناطیسی وجریان متناوب** کوشش شده است که مفاهیم بنیادی مربوط به این پدیده و نیز تولید جریان متناوب و کاربردهای آن به زبانی ساده و بر اساس برنامه‌های دبیرستانی برای رشته‌های علوم تجربی، ریاضی و پیشدانشگاهی شرح داده شود .

کتاب دارای خلاصهٔ فصل، پرسشهای تشریحی، چهارگزینه‌ای وتمرینهایی است که دانش‌آموزان عزیز را برای درک مطالب دبیرستانی وکسب مهارت درآزمونهای ورودی دانشگاهی والمپیادهای فیزیک آماده می کند .

شابک X-۳۱۹-۳۱۸-۹۶۴
ISBN 964-318-319-X

بها ۱۱۵۰ تومان